PERIODICAL
Madagascar. L'Institut Scientifique. Memoires. Serie F. Oceanographie.
LIBRARY
2 (1958)
DEC 21 1959
2(1958)
FISH & WILDLIFE SERVICE
ND
E
B

TOME II

# MÉMOIRES
## DE
# L'INSTITUT SCIENTIFIQUE
## DE
# MADAGASCAR

19 58

SÉRIE F. OCÉANOGRAPHIE

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE D'OUTRE-MER
TERRITOIRE DE MADAGASCAR ET DEPENDANCES

# MÉMOIRES DE L'INSTITUT SCIENTIFIQUE DE MADAGASCAR

Les *Mémoires de l'Institut scientifique de Madagascar* paraissent sans périodicité fixe, à raison d'au moins un volume de 300 pages par an. Les travaux publiés sont groupés en six séries :

A. Biologie animale et Océanographie.
B. Biologie végétale.
C. Sciences humaines.
D. Sciences de la terre.
E. Entomologie.
F. Océanographie.

La Direction de l'Institut de Recherche scientifique est disposée à envisager l'échange de ces *Mémoires* avec tous les périodiques intéressant la Bibliothèque de l'Institut. L'abonnement est fixé à 4.000 francs français par volume, plus les frais de port pour l'Etranger.

La correspondance, les demandes d'échange et d'abonnement, les manuscrits, doivent être adressés, soit :

— au Professeur J. Millot, du Muséum National d'Histoire Naturelle, Directeur de l'Institut de Recherche scientifique de Tananarive, Directeur-Fondateur des *Mémoires*, 55, rue de Buffon, Paris V$^{e}$ (d'où on fera suivre à Madagascar) ; soit :

— à M. R. Paulian, Directeur-adjoint de l'Institut de Recherche scientifique de Tananarive, Secrétaire général des *Mémoires*, à Tananarive-Tsimbazaza (Madagascar).

Les épreuves sont à renvoyer à M. P. Bourgin, Assistant au Muséum, Secrétaire-adjoint des *Mémoires*, 55, rue de Buffon, Paris V$^{e}$.

La Direction des *Mémoires* laisse aux auteurs l'entière responsabilité des faits avancés et, éventuellement, de certaines particularités de leur style.

Toute reproduction, même partielle, est strictement interdite sans autorisation.

TOME II

# MÉMOIRES

DE

# L'INSTITUT SCIENTIFIQUE

DE

# MADAGASCAR

1958

SÉRIE F. OCÉANOGRAPHIE

# NOUVEAUX GENRES, ESPÈCES ET FORMES DÉCRITS DANS CE VOLUME

## COPÉPODES


*Anthessius pinnae* Humes ..... 286
*Lichomolgus asaphidis* Humes ..... 309
— *audens* Humes ..... 303
— *patulus* Humes ..... 298
— *venustulus* Humes ..... 290
*Modiolicola trabalis* Humes ..... 315
*Ostrincola clavator* Humes ..... 319
— *simplex* Humes ..... 324
*Pseudomycola levis* Humes ..... 338
— *mirabilis* Humes ..... 330


## NÉMATODES


*Enoplus sacculus* Gerlach ..... 353
*Oncholaimus malgassus* Gerlach ..... 356
*Trefusia cornea* Gerlach ..... 349
*Tripyloides brevis* Gerlach ..... 362

MÉMOIRES DE L'INSTITUT SCIENTIFIQUE DE MADAGASCAR
Série F. — Tome II. — 1958

# STRUCTURE ET GEOMORPHOLOGIE DU LITTORAL KARIMBOLA (EXTREME SUD DE MADAGASCAR)

par

R. BATTISTINI

Le plateau karimbola — du nom de la tribu qui occupe cette région — s'étend sur 80 km de longueur dans l'extrême Sud de Madagascar, entre les vallées de la Menarandra à l'Ouest, de la Manambovo à l'Est, et sur une cinquantaine de km de largeur entre Beloha au Nord et le Cap Sainte-Marie, qui est le point le plus méridional de la Grande Ile. Cette région fait partie de l'Androy sédimentaire, par opposition à l'Androy cristallin, région des pédiments et des inselbergs qui font au Nord la transition avec les plateaux Bara.

La surface du plateau karimbola est à peu près horizontale ou affectée d'ondulations insensibles entre 130 et 200 m d'altitude. Son parcours apporte peu de renseignements sur sa structure géologique : en dehors des sables roux, qui couvrent environ 95 % de la région, le seul élément de diversité est apporté par l'affleurement local de croûtes calcaires, et par le passage dans certains fonds de cuvettes à des sables gris ou blancs. C'est sur les bordures du plateau, à l'occasion des entailles faites par la Menarandra et la Manambovo, et surtout le long du littoral du canal de Mozambique, qu'il faut chercher les coupes naturelles qui permettent de se faire une opinion sur la structure géologique de ce vaste ensemble.

Dans cette étude nous laisserons de côté les vallées de ces deux grandes rivières, et nous nous limiterons à l'examen de la bordure littorale.

*Documents cartographiques, géologiques et photographiques utilisés.* — Les seuls documents cartographiques suffisamment précis sur la région sont les cartes au 1/100.000e en courbes de niveau, récemment éditées par le Service Géographique de Madagascar. Ces cartes couvrent tout le secteur étudié. Les feuilles utilisées sont, d'Est en Ouest, celles

de Tsihombe (I 63), du Cap Sainte-Marie (H 63), de Lavanono (G 63) et de Marolinta (F 62 63). Les feuilles de Beloha (H 62) et de Kirimosa (G 62), couvrent la partie septentrionale du plateau. Les courbes de niveau, établies par photogrammétrie d'après les photographies aériennes avec une équidistance de 25 m, permettent de se faire une idée assez exacte des grandes lignes du relief.

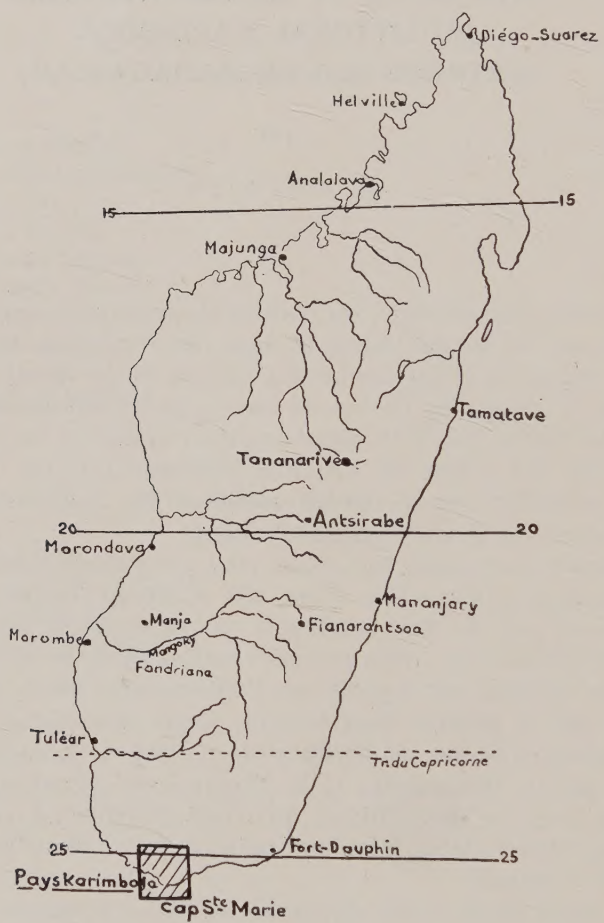



Fig. 1. — Madagascar. *En grisé* la région étudiée.

Lorsque nous avons été chargé d'effectuer cette étude, la bordure littorale karimbola avait déjà été parcourue par plusieurs géologues ; nous utiliserons le plus possible les résultats de leurs travaux. Les cartes géologiques existantes sont celles établies au 1/200.000e et 1/500.000e par le Service Géologique de Madagascar. La plus précise de ces deux cartes, celle au 1/200.000e est une carte de reconnaissance

construite à partir d'un réseau très lâche d'itinéraires qui pour la plupart suivent les pistes (1).

Le pays karimbola est entièrement couvert par les photographies aériennes au 1/45.000e environ de l'Institut Géographique de Madagascar. Ces photographies, souvent excellentes, sont l'instrument de travail de base pour toute étude géologique ou géomorphologique de cette partie de Madagascar.

*Le climat.* — Le climat du pays karimbola est caractérisé par une faible pluviosité comparativement aux autres régions de Madagascar. Le total pluviométrique annuel est de 324 mm à Androka, 377 mm à Faux Cap, 470,6 mm à Beloha, 444,2 mm à Ampotaka, et 441 mm à Tsihombe. Les chiffres les plus faibles sont ceux des stations littorales.

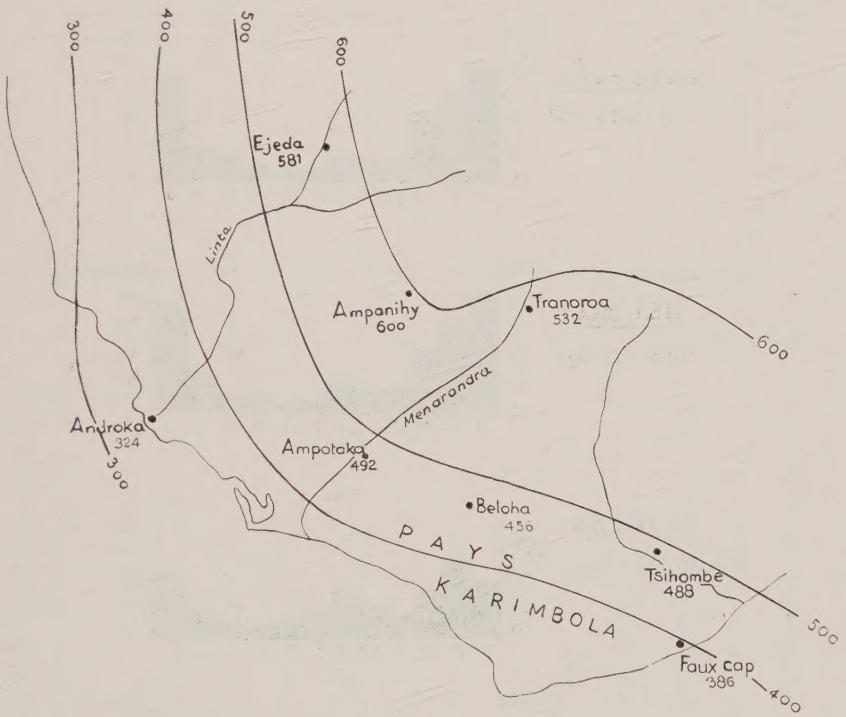



Fig. 2. — Carte des isohyètes pour le pays Karimbola et le Sud-Est du pays Mahafaly. Hauteurs en millimètres par an.

La pluviosité augmente progressivement vers le Nord à mesure que l'on pénètre à l'intérieur des terres (voir la carte des isohyètes).

(1) Depuis notre campagne, le Service Géologique de Madagascar a publié une nouvelle carte géologique au 1/500.000e.

Les pluies se répartissent dans l'année en une saison humide qui dure de décembre à mars inclus.

A Beloha 327,2 mm tombent durant ces quatre mois (soit plus des deux tiers du total annuel). De même à Ampotaka il tombe en quatre mois 321,7 mm sur un total de 444,2 mm.

La saison sèche dure d'avril à novembre, les premières pluies notables commençant parfois dès le mois de novembre, en particulier pour

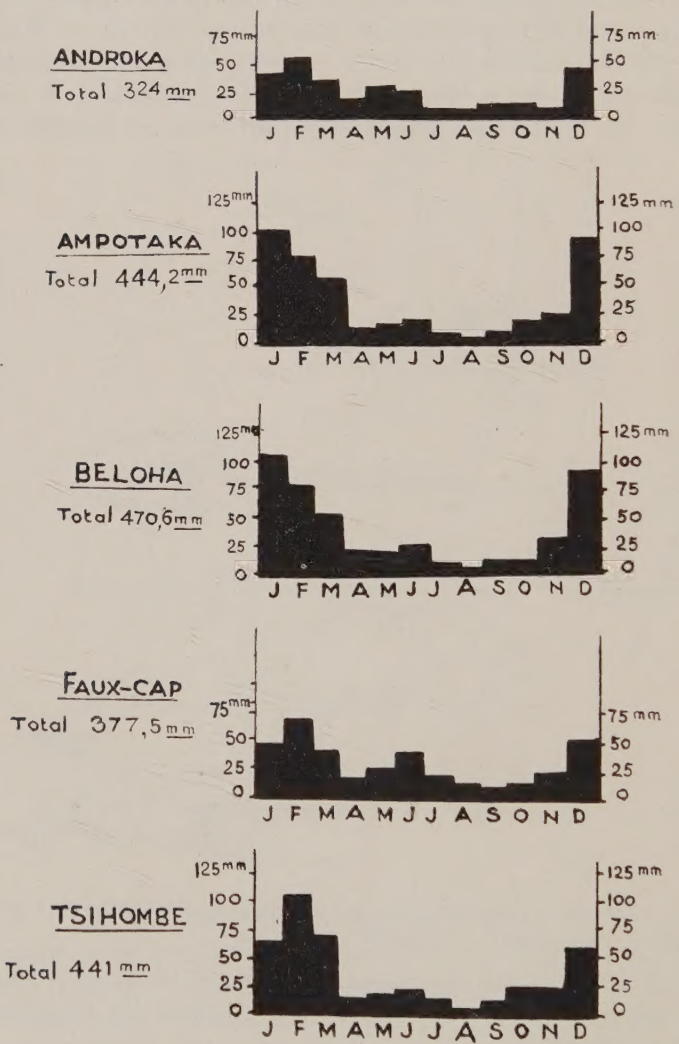



Fig. 3. — Moyennes mensuelles des précipitations à Androka, Ampotaka, Beloha, Faux Cap et Tsihombe.

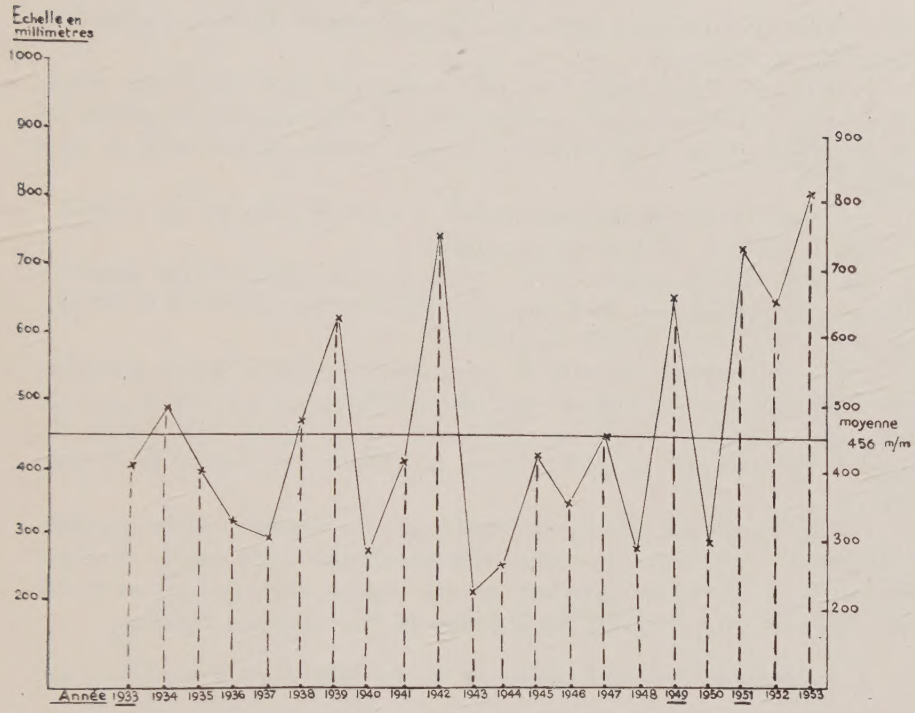



Fig. 4. — Variations annuelles des précipitations entre 1933 et 1953 à Beloha.

Fig. 5. — Températures moyennes mensuelles pour la Station de Beloha.

les stations de l'intérieur (32,4 mm en novembre à Beloha, contre 12,4 seulement à Androka).

Il faut noter l'existence d'un petit maximum pluviométrique secondaire en juin, bien net sur les graphiques. Ce maximum secondaire est remarquable à Faux Cap (38,7 mm en juin, contre 14,4 en avril et 13,8 en août).

Le mois d'août est habituellement le mois le plus sec de l'année : 7,3 mm à Beloha, 5,4 mm à Ampotaka.

La pluviométrie peut varier du simple au triple d'une année à l'autre. Le graphique de la figure 4 exprime les variations de la pluviosité annuelle pour la station de Beloha.

Les précipitations peuvent se faire parfois sous la forme d'averses très violentes. Le maximum des précipitations en 24 heures est de 250,3 mm à Beloha, mais ce chiffre est exceptionnel. Des chutes de pluie de 30 à 40 mm en 24 heures se produisent par contre assez souvent.

Les températures sont caractérisées par une saison chaude qui dure d'octobre à avril (moyenne mensuelle supérieure à 24 degrés avec un maximum au mois de janvier) et une saison dite fraîche avec un minimum en juin et juillet (19,5 degrés et 19,1 degrés à Beloha).

A Ampotaka l'indice d'aridité de E. de Martonne $A = \frac{P}{T + 10}$ est de 7,3, et de 4,6 à Androka. Il s'agit de chiffres caractéristiques d'un climat semi aride, avec une tendance plus marquée à l'aridité dans la zone proprement littorale.

Cette semi aridité est contrebalancée sur le littoral par l'existence de précipitations occultes (rosées matinales) assez importantes. Le matin les branches des épineux et les herbes sont fréquemment humectées d'une rosée qui s'évapore avec l'apparition du soleil.

Dans l'ensemble du secteur qui nous intéresse le vent dominant jusqu'à 700 mètres d'altitude est le vent du S.E. ou de l'E.

A Faux Cap le vent dominant est pendant 8 mois de l'année le vent d'E. ; durant les 4 autres mois le vent souffle surtout du S.E. ou de l'E.S.E.

A Androka c'est le vent du S.E. qui souffle le plus fréquemment (10 mois sur 12). Les mois d'avril et d'octobre sont caractérisés par le vent dominant de S.S.E.

A Beloha, à 40 km à l'intérieur des terres, le vent dominant est pendant 11 mois le vent d'E.S.E.

Les vents des secteurs N et NW ne soufflent qu'exceptionnellement, et pendant quelques heures ou quelques jours seulement, lorsque certaines conditions isobariques sont réalisées. Ils sont rapidement à nouveau dominés par les vents des secteurs E et S.E.

Fig. 6. — Carte générale du pays Karimbola. *En tireté fin* : courbes hypsométriques de 100, 150, 175 et 200 mètres ; *trait fort avec barbules* : grand talus intérieur de la plaine côtière de Lavanono ; *en pointillé* : principales dépressions fermées du plateau Karimbola ; I : limite nord de l'ensemble dunaire le plus ancien du pays Karimbola ; II : extension de l'ensemble dunaire méridional ; III : limite Nord-Est de la dune flandrienne ; les *croix* circonscrivent les affleurements principaux du socle cristallin.

*Les grands ensembles du relief de la bordure littorale karimbola.* — Le bord méridional du plateau intérieur karimbola, dont les cotes d'altitude sont comprises entre 130 et 239 m, domine directement la mer au Cap Sainte-Marie, créant un rivage particulièrement abrupt. Une dissymétrie nette existe entre les faces occidentale et orientale de ce cap. Le rivage occidental est de beaucoup le plus abrupt : on passe en moins de 500 m des cotes du plateau, comprises ici entre 130 et 150 m, au niveau de la mer. A l'extrémité du cap, la grand falaise est presque verticale et son pied est attaqué par les vagues (Pl. I, B). Sur la face orientale du cap, au contraire, la bordure du plateau est à une altitude plus élevée (entre 200 et 230 m), mais la retombée sur la mer est moins brutale : à Ankatravitra celle-ci se fait en 2 ou 3 km par une pente assez régulière de 7 pour cent à 10 pour cent en moyenne. A mesure que l'on va vers l'Est la retombée du plateau sur la mer s'adoucit de plus en plus. A Faux-Cap le passage du plateau intérieur (cote 202 m) au niveau de la mer se fait en 10 km par une pente à peine perceptible. Dans ce secteur un sillon allongé parallèlement à la ligne de rivage, assez semblable à « l'oulja » du littoral atlantique du Maroc (M. Gigout, 1951), sépare presque partout la retombée du plateau intérieur du cordon dunaire littoral actuel.

A l'Ouest du Cap Sainte-Marie, à partir d'Ambalanosy, une plaine côtière d'abord très étroite, puis de plus en plus large vers l'Ouest, s'interpose entre la mer et un grand talus intérieur abrupt qui constitue, comme au cap Sainte-Marie, la bordure du plateau (Pl. I, A). Cette plaine côtière atteint 4 km de largeur à Lavanono, à 30 km à l'Ouest de l'extrémité du Cap Sainte-Marie. Elle est dominée en un endroit par un piton résiduel, sorte de butte témoin laissée en arrière lors du recul du grand talus intérieur entre Lavanono et l'enracinement du Cap Sainte-Marie. A Malaimpioka la plaine côtière s'interrompt brusquement ; on retrouve sur 5 km une retombée en pente plus douce du plateau intérieur sur la mer, semblable à celle décrite à Ankatravitra. A partir de Tsivaha la plaine côtière reparaît, toujours dominée dans sa partie interne par la continuation du grand talus intérieur (Pl. III, A).

La plaine côtière de Lavanono et de Tsivaha est l'amorce de la grande plaine côtière mahafaly qui s'étend sans interruption sur plus de 200 km de longueur au Nord de la région que nous étudions, jusqu'à l'embouchure de l'Onilahy, et qui atteint par endroits 15 km de largeur. Un grand talus intérieur semblable à celui qui se trouve en arrière de Tsivaha et de Lavanono, et situé dans le prolongement de ce dernier, domine la partie interne de cette plaine côtière mahafaly jusqu'à l'embouchure de l'Onilahy.

L'étude du secteur littoral compris entre le cap Sainte-Marie et l'embouchure de la Menarandra présente donc un intérêt particulier du fait qu'on y trouve l'amorce méridionale des deux principaux éléments du relief du littoral Sud-Ouest de Madagascar : la plaine côtière et le grand talus intérieur qui la domine.

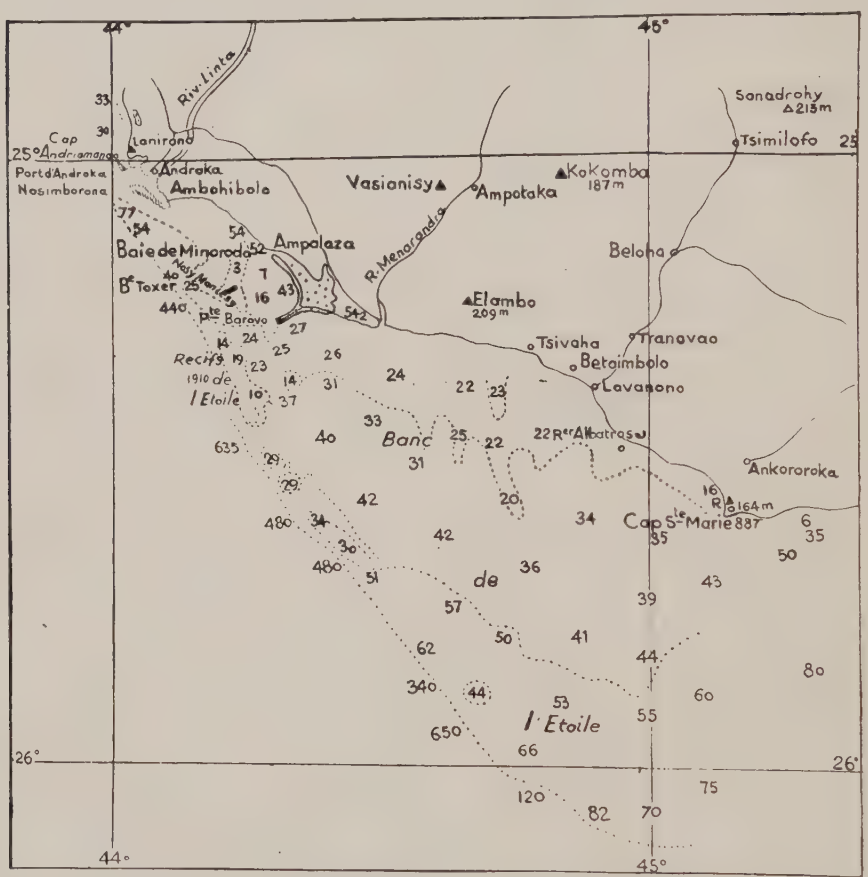



Fig. 7. — Carte des fonds sous-marins en face du pays Karimbola (d'après la carte marine au 1/850.620).

L'examen des fonds sous-marins révèle l'existence d'un vaste plateau sous-marin, le banc de l'Etoile, en face du littoral Karimbola. Les profondeurs n'y excèdent généralement pas 50 mètres. Sur le méridien de Lavanono on ne rencontre la courbe de moins 50 mètres qu'à 50 kilomètres au large. Ce plateau devient de plus en plus étroit vers l'Ouest, et ne mesure plus qu'une vingtaine de kilomètres de largeur en face de l'embouchure de la Linta où il existe des profondeurs supérieures à 400 mètres à dix kilomètres seulement du littoral. Le rebord externe du plateau sous-marin est frangé au Sud-Ouest par un chape-

let de récifs et de hauts fonds. Sa retombée sur les profondeurs supérieures à 400 mètres est un talus sous-marin probablement bien net et en pente relativement forte. On remarque en effet une cote moins 430 m à 3 km seulement d'une cote moins 130 située sur le rebord du plateau sous-marin.

Ce plateau sous-marin s'étend aussi largement à l'Est du Cap Sainte-Marie. Au Sud d'Ambovombe, sa largeur moyenne est d'une cinquantaine de kilomètres. Il se rétrécit un peu en face du pays Tanosy et de Fort-Dauphin, où l'on trouve une cote moins 457 à 40 kilomètres du littoral.

L'échelle de la carte marine (1/850.620), et les connaissances encore trop sommaires que l'on a sur le relief des fonds sous-marins dans cette région, ne permettent pas d'entreprendre une étude de détail des formes et des accidents immergés. La densité des points de sonde est trop faible pour déterminer, par exemple, s'il existe dans cette partie du plateau continental malgache des vallées sous-marines, à plus forte raison pour en entreprendre l'étude. On ignore de même à peu près tout de la nature des fonds.

Avant de commencer l'étude géomorphologique de détail de la bordure littorale karimbola nous examinerons les données fournies par la structure géologique, telles qu'elles apparaissent d'après les études géologiques existantes complétées par nos propres observations.

## I. — ETUDE DE LA STRUCTURE

Les cartes géologiques au 1/200.000e et au 1/500.000e indiquent que le plateau Karimbola et sa bordure sont essentiellement constitués par des grès calcaires à *Aepyornis* et mollusques terrestres — considérés jusqu'à présent comme quaternaires — qui dépassent 200 mètres d'épaisseur. Des calcaires marins tertiaires affleurent à la base de la grande falaise du Cap Sainte-Marie et du talus intérieur de la plaine côtière de Lavanono sous ces formations. Un affleurement du socle est signalé sur l'estran au lieu dit Antaramaitsy, entre Lavanono et le Cap Sainte-Marie.

Nous avons essayé de préciser et de compléter ces premières données sur la géologie de la bordure littorale Karimbola en nous aidant sur le terrain des cartes topographiques au 1/100.000e en courbes de niveau et de la couverture aérienne au 1/45.000e environ, qui n'existaient pas lors de la levée des premières cartes géologiques.

Nos observations, résultat de la campagne menée en mai et juin 1956, sont résumées dans une « carte des affleurements littoraux du pays Karimbola » au 1/100.000e.

## LEGENDE COMMUNE AUX FIGURES 8 et 9

γ ..... Socle cristalin. Affleurements jusqu'à plus 30 mètres.

B ..... Basaltes de Lavanono. Affleurements au niveau de la mer.

e ..... Tertiaire marin du Cap Ste Marie. Calcaires blancs ou grisâtres à plus 20 mètres d'altitude au sud d'Ambalanosy : passant au dessous du Q marin à l'extrémité du Cap Ste Marie.

t ..... Néogène continental. Epaisseur maxima visible : 50 mètres. Argiles bariolées; sables aréniques; sables argileux; grès siliceux marrons et violets; grès ferrugineux; calcaires; cherts. La surface supérieure du néogène continental est à plus 90 mètres du Maiekandro et s'abaisse progressivement vers Lavanono

..... Plateau Karimbola et son rebord dans l'Aepyornien ancien continental. Grès-calcaires fréquement à stratification entrecroisée et calcaires (anciennes croûtes) à débris d'œufs d'Aepyornis et coquilles de pulmonés terrestres. Epaisseur maxima visible: 200 mètres. Couverture superficielle de sables roux ou rosés.

Qm ..... Aepyornien moyen marin (niveau marin karimbolien de plus 3 mètres environ) Lumachelles. Calcaires et grès-calcaires fossilifères, poudingues, calcaires et grès-calcaires à débris roulés de corail.

Qd ..... Aepyornien moyen dunaire. Epaisseur maxima : 10 mètres : Grès dunaire littoral à stratification entrecroisée.

Qc ..... Aepyornien supérieur continental. Epaisseur maxima : 35 mètres. Sables et grès blancs ou jaunes à débris d'œufs d'Aepyornis et coquilles de pulmonés terrestres. Poudingues fluviatiles. Breches de pente.

..... Aepyornien supérieur continental en recouvrement sur l'Aepyornien moyen dunaire.

..... Dune récente. Cordon littoral. Dunes paraboliques passant exceptionnellement à des dunes entraînée

..... Faille de Lavanono : Les barbules sont du côté du compartement effondré.

..... Faille probable.

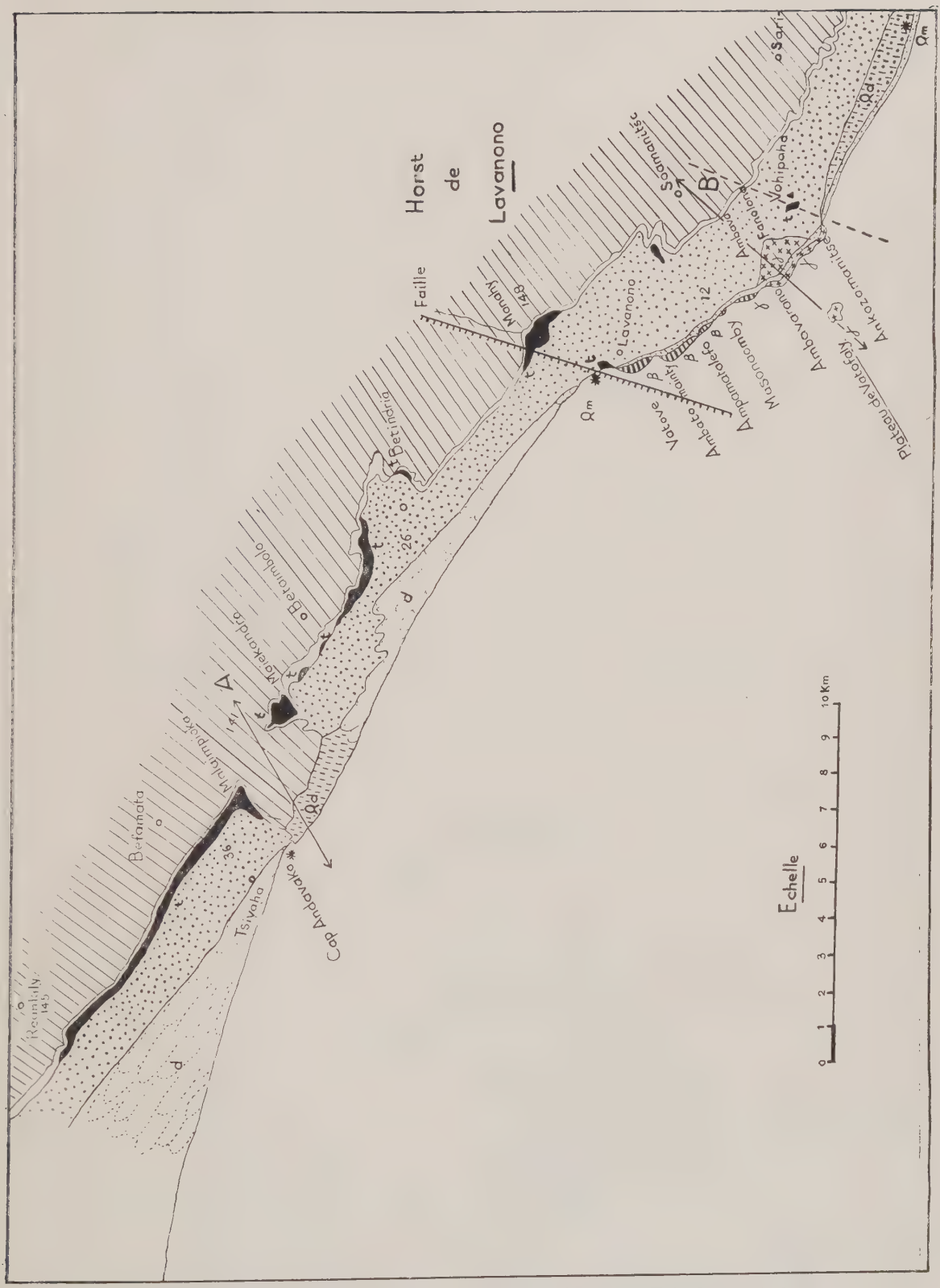



Fig. 8. — Carte géologique du littoral Karimbola entre Tsivaha et Ankazomanitse (se reporter à la légende commune aux figures 8 et 9).

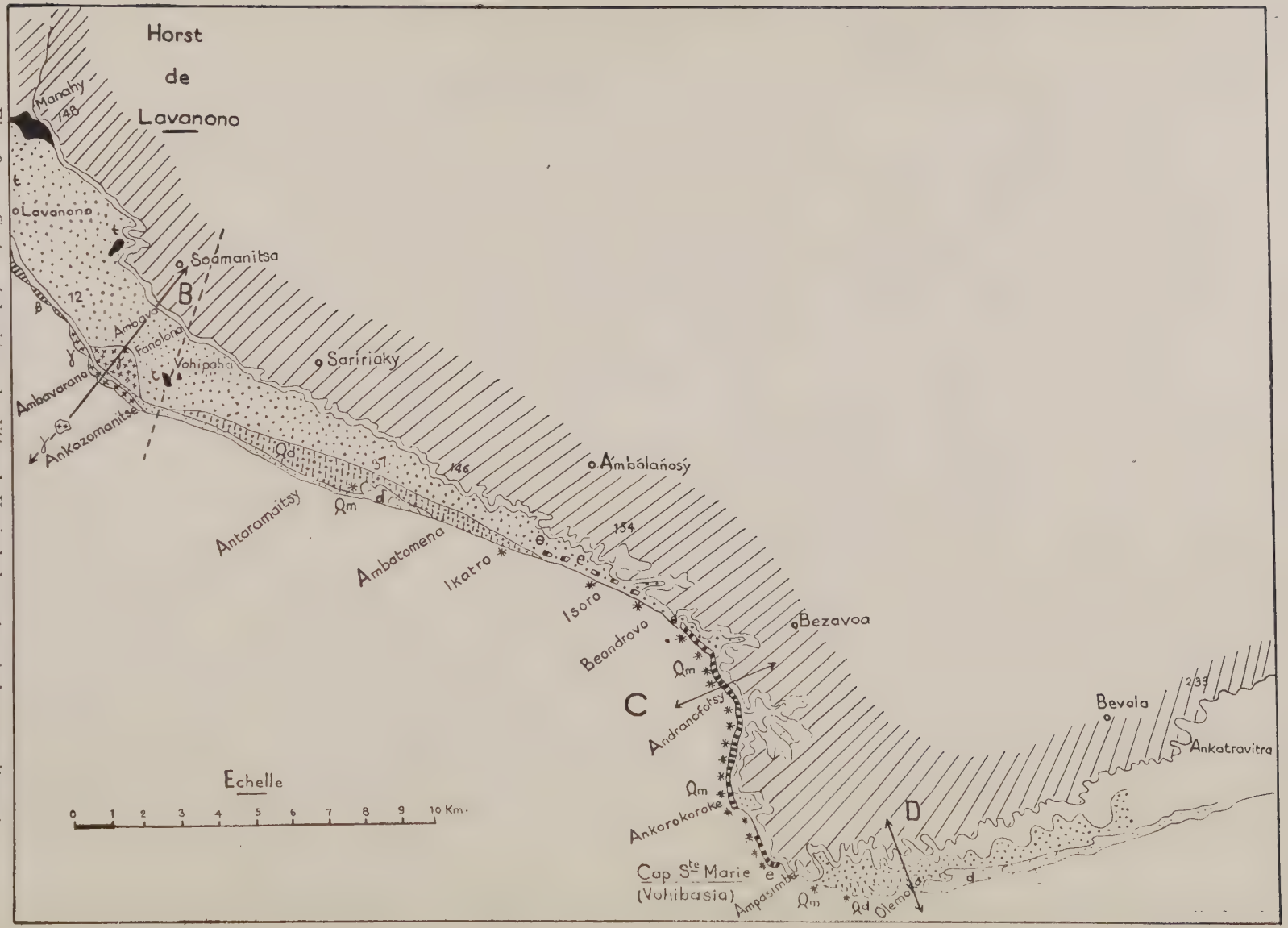



Fig. 9. — Carte géologique du littoral Karimbola entre Ankazomanitse et Ankatravitra (se reporter à la légende commune aux figures 8 et 9).

## Les terrains antérieurs à l'Aepyornien

### 1° Les affleurements du socle cristallin.

Nous n'avons pas retrouvé le socle cristallin au lieu dit Antaramaitsy. Par contre le cristallin est visible en affleurement sur l'estran, en contrebas du cordon dunaire actuel et jusqu'au niveau des plus hautes mers, aux lieux dits Ankazomanitse, Ambavarano (Cap Ambatomihoka de la carte au 1/100.000e), Ananatsakoa, Sakoamivanditra, et Masonaomby, sur une longueur de côte de trois kilomètres environ, immédiatement au Sud-Est de Lavanono (Pl. IV, A).

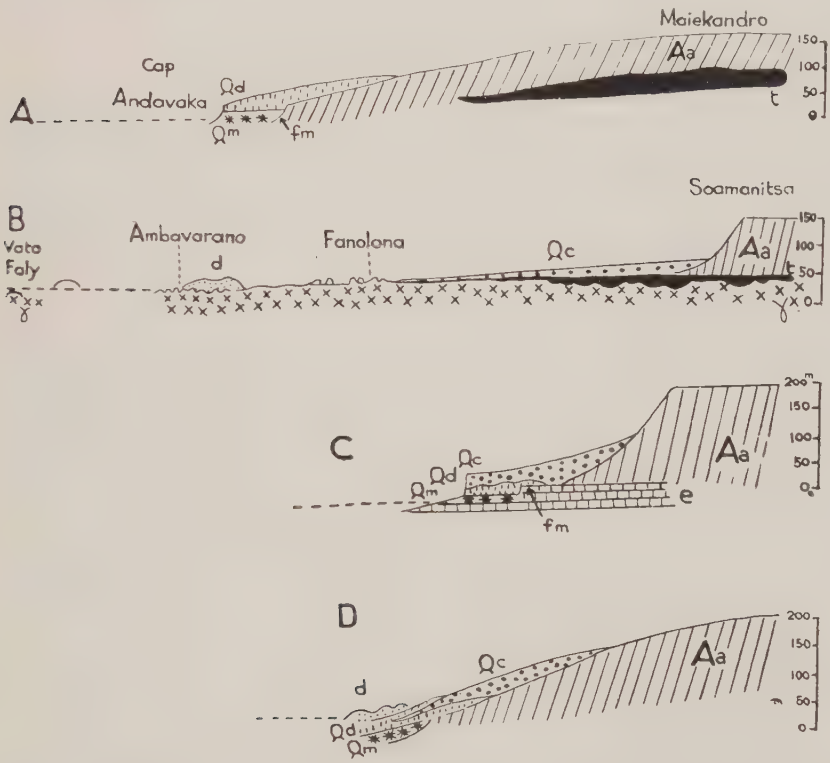



Fig. 10. — Coupes selon A, B, C, et D des figures 8 et 9. Echelle des hauteurs fortement exagérée.

γ : Socle cristallin. — *e* : Calcaires tertiaires marins. — *t* : Néogène continental. — *Aa* : Aepyornien ancien. — *Qm* : Aepyornien moyen marin. — *Qd* : Aepyornien moyen dunaire. — *Qc* : Aepyornien supérieur continental. — *d* : Dune récente. — *fm* : falaise fossile marine karimbolienne. — *Ligne de netteté* : Niveau de la mer.

Le socle cristallin affleure aussi à l'intérieur de la plaine côtière, en arrière du cordon dunaire actuel, jusqu'à 30 mètres d'altitude environ, aux lieux dits Fanolona et Ambava. On observe en ces endroits de gros blocs de plusieurs mètres cube aux angles émoussés, qui reposent sur une plateforme rocheuse lisse et dénudée ; ces blocs forment localement de véritables amas dont les sommets émergent de la brousse à euphorbes (Pl. IV, B).

Le récif de Vatofaly (récifs Albatros de la carte au 1 100.000e situé à 3 km au large d'Ambavarano, et qui dépasse légèrement le niveau des plus hautes mers), est lui-même constitué par le socle cristallin.

Au point de vue pétrographique, cette série cristalline qui comprend des roches macro et microgrenues, doit être rangée dans les migmatites à amphiboles.

### 2° Les coulées basaltiques de Lavanono

L'existence de galets de basalte dans la plage quaternaire consolidée de Lavanono a été déjà signalée par Pavlowsky (1950). Etant donné le sens général de la dérive littorale, qui sur cette côte est dirigée du Sud-Est vers le Nord-Ouest, on pouvait penser dès le premier abord que ces galets de basalte avaient été apportés du Sud-Est. A 1,5 km au Sud de Lavanono, nous avons découvert en effet, sur l'estran, le basalte en place au lieu dit Ambatomainty. L'affleurement, qui se trouve à la base du cordon dunaire au dessous du niveau des plus hautes mers, mesure environ 500 m de longueur sur 200 m de largeur. Le basalte présente une structure cellulaire ; la partie centrale des cellules est mise en relief par l'érosion littorale dans la partie inférieure et moyenne de l'estran (Pl. III, B). Etudiant en détail l'estran entre Ambatomainty et Lavanono, ainsi qu'au Sud d'Ambatomainty, nous avons observé des affleurements plus localisés du basalte en place à Lavanono même, ainsi qu'aux lieux dits Ankalemboa, Vatove, Ampamatalefo et Ambatomamy. Le basalte en place disparaît la plupart du temps sous une brèche ou un poudingue à ciment de beachrock. Cette brèche ou ce poudingue sont vraisemblablement beaucoup plus récents que la coulée elle-même, et doivent être rattachés aux formations marines quaternaires que nous décrirons plus loin.

A Lavanono, Ankalemboa, Vatove et Ambatomainty des blocs de cristallin, dont certains dépassent 10 m, viennent en affleurement au milieu du basalte. La coulée est vraisemblablement peu épaisse — quelques mètres au plus — ; elle a fossilisé la surface du socle cristallin et des amas de boules semblables à ceux observés à Fanolona et Ambava. L'existence du socle cristallin peut donc être considérée comme bien établie le long du littoral entre Ankazomanitse et Lavanono, soit sur 8 km.

L'âge de la coulée basaltique est difficile à préciser. Le basalte est plus récent que les plages anciennes quaternaires grésifiées, puisque l'une de ces plages le recouvre à Ambatomainty, et qu'à Lavanono, au lieu dit Andranovato, une autre plage lui a emprunté le matériel de ses galets. Faute de coupes montrant une superposition indiscutable, il est impossible de préciser si les argiles bariolées du néogène continental, qui affleurent aussi sur l'estran de Lavanono, sont postérieures ou antérieures à la coulée basaltique. Ces argiles sont localement durcies, alors qu'elles sont généralement meubles dans les autres coupes connues du néogène continental. D'après M. Aurouze (1), ingénieur géologue du Service Géologique de Madagascar, qui a revu l'estran de Lavanono après notre passage, il est possible que cette consolidation des argiles, qui leur donne l'aspect de briques, soit due à une cuisson par la coulée basaltique, qui dans ce cas serait néogène ou quaternaire. Mais il est possible aussi que la consolidation des argiles sur l'estran soit liée aux phénomènes généraux de durcissement des sédiments au-dessous du niveau des plus hautes mers. Des échantillons d'argile consolidée, prélevés à Lavanono, sont actuellement en cours d'analyse dans les laboratoires du Service Géologique de Madagascar ; peut-être permettront-ils de trancher le problème important de l'âge de ces coulées.

### 3° Les affleurements du tertiaire marin

Les calcaires marins tertiaires qui constituent la majeure partie du grand talus intérieur de la plaine côtière Mahafaly au Nord de la région que nous étudions, disparaissent brusquement au Sud de l'embouchure de la Menarandra. Le relief de l'Ambohitsariary et la base du Vohibantaza, à l'Est de cette rivière, sont encore constitués par ces calcaires. Mais à l'Est de la grande dune de l'Anandriano, le tertiaire marin cesse d'affleurer dans le grand talus intérieur. Ce dernier accident, en arrière des plaines côtières de Tsivaha et de Lavanono, est entièrement entaillé dans des formations plus récentes. On ne connaît aucun affleurement marin tertiaire sur les 60 km qui séparent l'Anandriano de l'abrupt du Regidy, près de Saririaky, à l'enracinement occidental du cap Sainte-Marie. Dans ce dernier secteur, le tertiaire marin reparaît en affleurement à l'intérieur de la plaine côtière dans les entailles de ravines en contrebas du grand talus (Ikatro, Ampototse, Kalandramia, Andromotsy, Andramara, Ambatomitsotaka). L'altitude du sommet des assises calcaires est d'une vingtaine de mètres. Plus à l'Ouest, au lieu dit Beandrovo, ces assises affleurent en bordure de mer dans la falaise

(1) Renseignement oral.

actuelle. Entre Beandrovo et l'extrémité du cap Sainte-Marie, on les retrouve en affleurement dans le fond de la plupart des entailles fluviatiles, ainsi que sur l'estran. Le tertiaire marin s'abaisse progressivement vers le Sud à partir du lieu dit Beandrovo, où on le trouve encore à + 20 m. Au Sud du lieu dit Befotoka, près de l'extrémité du cap Sainte-Marie, sa partie supérieure, recouverte en cet endroit par 170 m de grès calcaire à Aepyornis et mollusques terrestres, passe au-dessous du niveau de la mer. Cette disparition est définitive : on ne connaît pas d'affleurement des calcaires marins tertiaires plus à l'Est, sur le littoral de l'Androy ou du pays Tanosy.

### 4° Le néogène continental

Nous gardons l'appellation de « néogène continental », utilisée par les géologues, pour désigner l'importante série argileuse et détritique qui couvre de grandes étendues au Sud des pédiments de l'Androy et du pays Mahafaly, malgré que cette datation soit hypothétique, ces terrains étant en effet entièrement azoïques.

Avant notre campagne le néogène continental de la bordure littorale Karimbola n'avait pas encore été décrit. On connaissait l'existence des dépôts néogènes au Nord du pays karimbola, où ils constituent l'ossature du grand glacis en pente douce vers le Sud qui s'étend au Nord de Beloha. Les nombreux affleurements qui existent près d'Ampanihy ainsi qu'au Sud de cette localité en contrebas de la cuesta tertiaire et en amont de la percée conséquente de la Menarandra, ont déjà été l'objet d'un inventaire sommaire. La découverte d'affleurements du néogène continental sur la bordure littorale karimbola apporte la preuve d'une prolongation vers le Sud jusqu'à la mer de ce grand glacis détritique de la fin du tertiaire, qui est certainement l'un des éléments paléomorphologiques les plus étendus et les plus caractéristiques de l'extrême Sud de Madagascar.

Entre Reankily et Lavanono, le néogène continental affleure dans la partie inférieure du grand talus qui domine la plaine côtière sous les grès calcaires à *Aepyornis* et mollusques terrestres du plateau karimbola. Le sommet de cette formation se trouve entre 60 et 90 m. A Lavanono les mêmes horizons affleurent sur l'estran et dans la falaise marine actuelle. Les faciès sont sensiblement les mêmes que ceux décrits dans la région de Beloha et d'Ampanihy : argiles bariolées, sables aréniques, sables argileux, grès siliceux marrons et violets, grès ferrugineux, calcaires, probablement lacustres, et cherts.

Entre Reankily et Malaimpioka, le néogène constitue sur 10 km la partie inférieure du grand talus sous les grès calcaires à *Aepyornis*. Les meilleurs affleurements sont visibles dans les entailles des grands

## LEGENDES DES PLANCHES I à VI

### Planche I

A. — L'extrémité orientale côtière de la plaine de Lavanono. L'ancien piedmont raviné, le grand talus intérieur dans l'Aepyornien ancien et la face occidentale du Cap Sainte-Marie.

B. — L'extrémité du Cap Sainte-Marie. Grès roses pré-aepyorniens à la base de la falaise, et au-dessus grès jaunes et blancs à débris d'œufs d'*Aepyornis*.

### Planche II

A. — Le grand talus en arrière de la plaine côtière de Lavanono, vu depuis le Vohipaha.

B. — Le grand talus en arrière du village de Lavanono.

### Planche III

A. — Le grand talus dans le Néogène continental et l'Aepyornien ancien en arrière de Tsivaha.

B. — Affleurement du basalte en place au lieu dit Ambatomainty.

### Planche IV

A. — Affleurement du socle cristallin sur l'estran au lieu dit Ambavarano.

B. — Affleurement du socle cristallin au lieu dit Fanolona. Chaos de boules reposant sur une surface cristalline arasée.

### Planche V

A. — Entaille marine actuelle dans les dépôts du piedmont lavanonien à l'Ouest du Cap Sainte-Marie. Au premier plan, lumachelle et grès de plage du Karimbolien. Recouvrant ces derniers, 20 à 30 mètres de dépôts en partie grésifiés correspondant aux épandages du Lavanonien.

B. — Poudingue marin et grès de plage à débris coralliens du Karimbolien, au débouché de la rivière d'Ampaimaoka à l'Ouest du Cap Sainte-Marie. Le Karimbolien repose sur une plateforme d'abrasion marine façonnée dans le calcaire tertiaire (à la hauteur de la tête du marteau).

### Planche VI

A. — Poudingue marin karimbolien à galets de basalte à Ambatomainty, près de Lavanono.

B. — Tête de la « hobaba » de l'Ikatro Ouest, entaillant les dépôts du piedmont lavanonien. Au fond le grand talus façonné dans l'Aepyornien ancien.

A

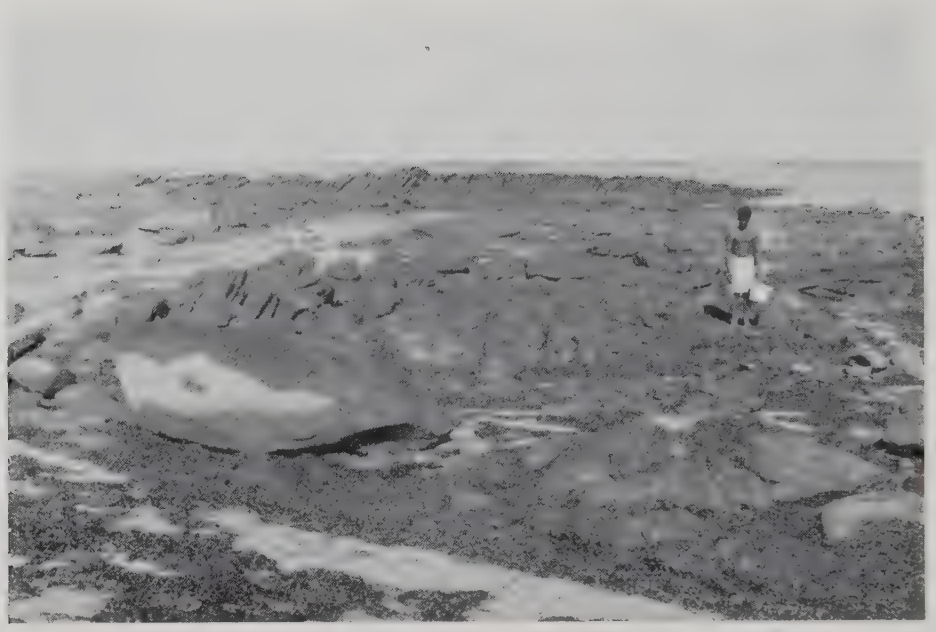
B

A

B

A

B



A

B

A

B

A

B

« haly », déchirures du versant assez semblables aux « lavaka » des hauts plateaux. L'épaisseur visible du néogène est en moyenne d'une quarantaine de mètres.

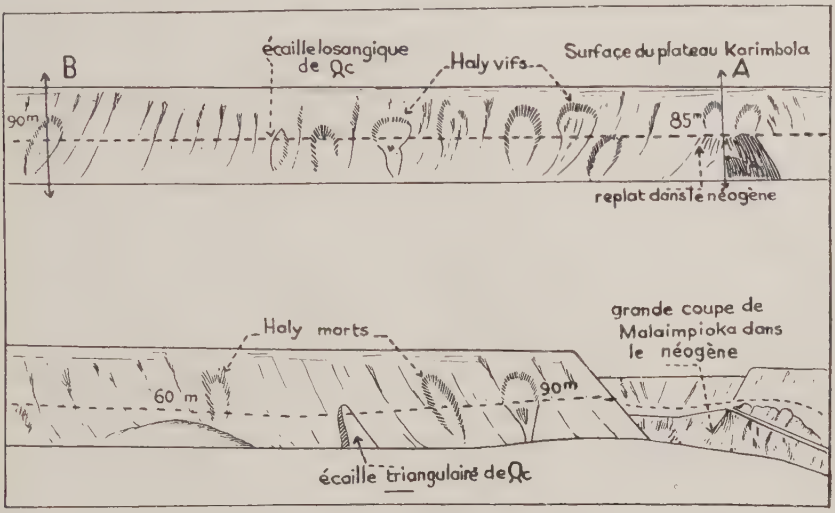



Fig. 11. — La grande falaise vue de Tsivaha. *En tireté :* surface supérieure du Néogène recouverte par l'Aepyornien ancien.

*La coupe du « haly be »* (Coupe B de Tsivaha, fig. 11 et 12)

Cette coupe se trouve au Nord de Tsivaha. Elle montre de bas en haut la superposition suivante :

— grès bleus ou violets finement stratifiés à gros graviers de quartz ;
— cherts roses ;
— croûte ferrugineuse ;
— argiles jaunes et rosées ;
— lits bien stratifiés de gravillons de quartz et de sables roulés grossiers à ciment ferrugineux ;
— cherts roses ;
— argiles bleues et jaunes à gros grains de quartz ;
— lits de gros graviers de quartz bien roulés à stratification fluviatile ;
— argiles sableuses jaunes ;
— calcaire blanc probablement lacustre ;
— argiles bariolées.

Le sommet du néogène continental est à 90 m d'altitude. La partie supérieure de la coupe, entre 90 m et 150 m, est constituée par des grès calcaires à *Aepyornis*.

*La coupe A de Tsivaha* (fig. 11 et 13)

Située au Sud-Est de la précédente, cette coupe montre de bas en haut la superposition suivante :

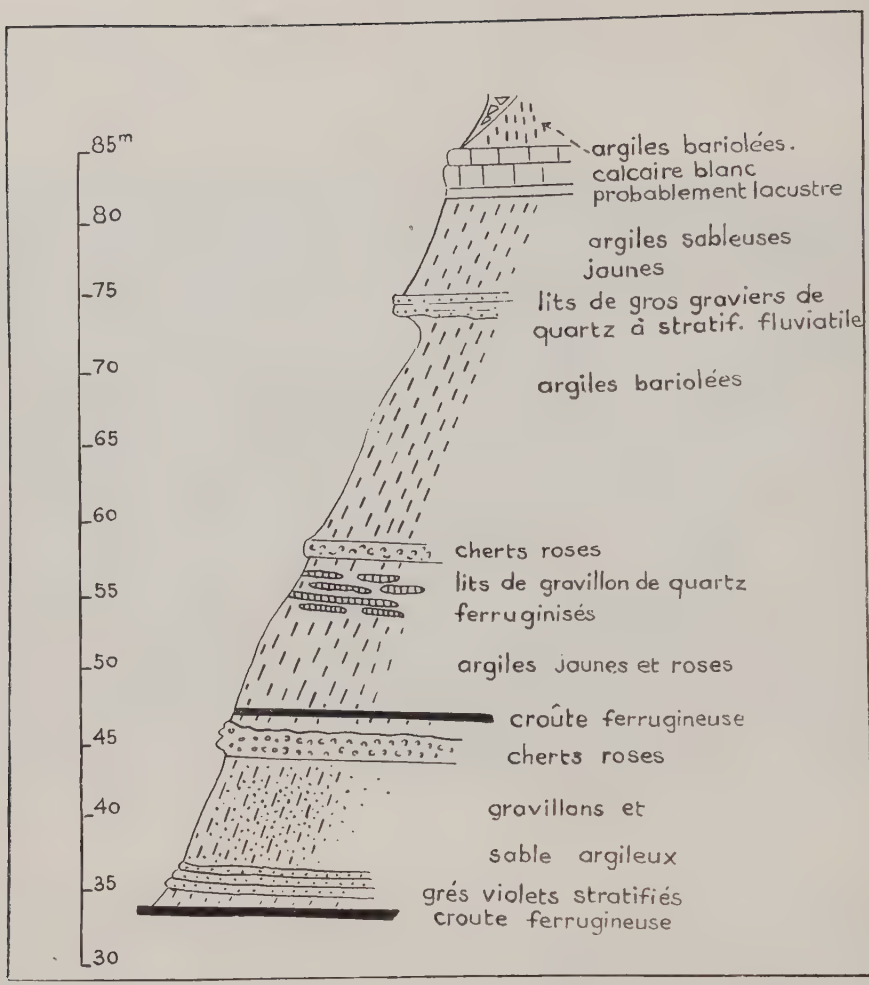



Fig. 12. — Coupe transversale à travers le Néogène selon B de la figure 11.

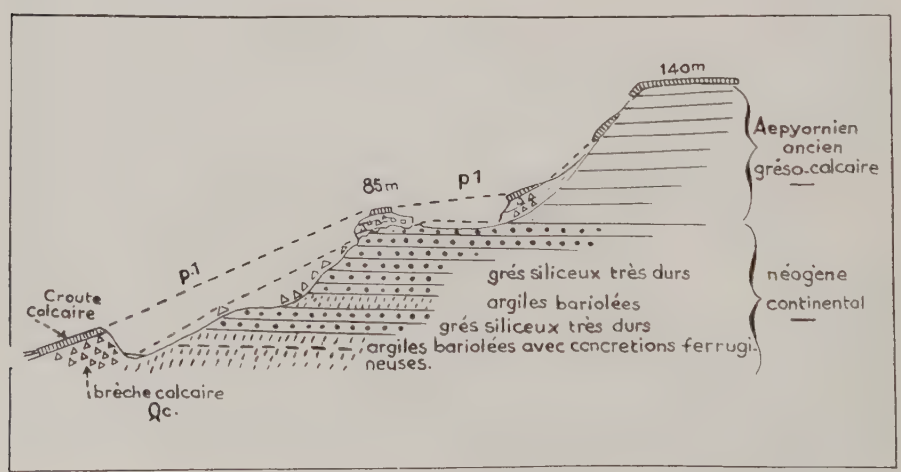



Fig. 13. — Coupe transversale selon A de la figure 11. La surface supérieure des formations du néogène correspond à une topographie ancienne, subhorizontale ou mollement ondulée, qui a été fossilisée sous les sédiments gréso-calcaires de l'Aepyornien ancien. On peut reconstituer, grâce à la présence d'éléments résiduels de brèche calcaire encroûtée, un profil lavanonien du grand talus plus doux que l'actuel (p. 1).

— argiles bariolées avec lits de concrétions ferrugineuses (épaisseur 6 m) ;
— grès siliceux très durs de couleur grise (5 m) ;
— argiles bariolées (5 m) ;
— grès grisâtres extrêmement durs (environ 30 m).

Le sommet du néogène continental est à 85 m d'altitude. Le sommet de la coupe, entre 85 m et 145 m, est constitué par les grès calcaires à *Aepyornis*. Les deux horizons gréseux néogènes déterminent deux replats structuraux étagés bien nets dans le profil en travers du grand talus.

*La coupe du chemin de bœufs de Malaimpioka.*

Cette coupe est visible en contrebas du chemin de bœufs qui relie le plateau karimbola au point d'eau de Tsivaha. De bas en haut on relève la succession suivante :
— argiles à trainées jaunes ou rouges et argiles à concrétions ferrugineuses noirâtres (épaisseur 10 m) à la côte + 50 m ;
— grès (80 cm) ;
— argiles blanches et jaunes à trainées rouille (5 m) ;
— grès argileux (1 m) ;
— argiles sableuses violettes, jaunes, blanches et rosées (5 m) ;
— argiles blanches et rosées à gravillons de quartz (4 m).

Entre la cote 75 m et la cote 85 m la coupe est voilée par des éboulis. Au-dessus du chemin de bœufs on peut observer sa partie supérieure constituée par les horizons suivants :
— sables arkosiques rouges à la cote 85 m ;
— grès (50 cm) ;
— calcaire blanc probablement d'origine lacustre (5 m).

Au-dessus de la cote 90 m environ on traverse les grès calcaires à *Aepyornis* qui constituent la partie supérieure de la coupe.

En même temps que le relief du grand talus intérieur, l'affleurement du néogène continental est interrompu sur 3 km entre Malaimpioka et le cirque du Maiekandro.

*Les affleurements du Maiekandro*

Entre Betaimbolo et Malaimpioka la rivière Iankile entaille en un cirque de 1,5 km de largeur sur 2 km de longueur la couverture grésocalcaire à *Aepyornis*. Le néogène continental affleure partout à l'intérieur du cirque au-dessous de la cote 90 m. Les faciès sont sensiblement identiques à ceux de Tsivaha : argiles bariolées à granules ferrugineux, croûtes ferrugineuses, bancs gréseux et calcaires blancs et roses. Les horizons les plus résistants, constitués par les grès et les calcaires, forment de petits replats structuraux à la partie inférieure des ver-

sants. Le sommet des coupes, entre 90 m et 120 à 150 m, est toujours constitué par les grès calcaires à *Aepyornis*.

Sur le chemin de bœufs conduisant à Betaimbolo le néogène continental monte jusqu'à la cote + 100 m ; le contact avec la base de l'Aepyornien est irrégulier dans le détail et montre des microravinements dans les argiles inférieures.

Entre le Maiekandro et Betindria l'affleurement du néogène s'interrompt. Le grand talus, au passage de la piste de Betindria à Betaimbolo, est constitué de haut en bas par les grès calcaires à *Aepyornis*. La base du talus se trouve en effet aux environs de la cote + 100 m, alors que la surface supérieure du néogène est probablement un peu au-dessous de cette cote. De petits affleurements de gravillons quartzeux à granules ferrugineux existent cependant sur la plaine côtière dans les entailles des affluents de la rivière Ianitike. En allant vers Betindria l'altitude de la base du grand talus diminue, et l'on voit à nouveau les terrains néogènes affleurer largement dans la partie inférieure de cet accident.

*La coupe de Betindria*

Au Nord-Ouest du village de Betindria, un petit replat structural, à 90 m d'altitude, à mi-hauteur du grand talus, est constitué par l'affleurement d'un banc de calcaire néogène, probablement lacustre, sous les grès calcaires à *Aepyornis*. On peut observer à cet endroit de bas en haut la coupe suivante dans le néogène :

— grès siliceux très durs à la cote 60 m ;

— argiles bariolées, sur une épaisseur de 25 m, avec des intercalations sableuses, des niveaux de croûtes ferrugineuses, et des lentilles de cherts ;

— calcaires blancs ou rosés constituant, à la cote 90 m, le sommet de la série néogène.

A l'Est du village de Betindria de petits affleurements de néogène sont aussi observables au pied du grand talus.

*Les affleurements de Lavanono*

En arrière de Lavanono, au lieu dit Manahy, on retrouve jusqu'à environ 80 m d'altitude, au pied du grand talus, les divers faciès du néogène (grès siliceux, argiles bariolées à granules ferrugineux, sables aréniques, calcaire) sous les grès calcaires à *Aepyornis*.

Au-dessous de 60 m environ le néogène continental disparaît sous les sédiments quaternaires de la plaine côtière. On le retrouve en bordure de mer sur l'estran de Lavanono, où il est représenté par des argiles rouges, bleues, mauves et blanches, accompagnées de croûtes ferrugineuses. Les argiles bleues et mauves servent de substratum, au

lieu dit Andranovato, à une plage ancienne quaternaire que nous décrirons plus loin. Dans le paragraphe consacré aux basaltes de Lavanono, nous avons évoqué le problème de l'antériorité ou de la postériorité des coulées par rapport aux dépôts du néogène. Nous n'avons pas trouvé de débris basaltiques au milieu des argiles, ce qui est une observation favorable à la dernière des deux hypothèses.

Il est probable que les argiles néogènes de l'estran de Lavanono sont en continuité avec le néogène du Manahy par dessous le remblaiement quaternaire de la plaine côtière. La coupe donnée par un sondage effectué en arrière du village de Lavanono est favorable à cette interprétation (Pavlowsky, 1950). L'épaisseur totale du néogène continental serait donc, en cette partie de la bordure littorale karimbola, d'environ 80 mètres.

*Les affleurements sur la plaine côtière au Sud-Est de Lavanono.*

Au Sud-Est de Lavanono et du Manahy on ne retrouve plus de belles coupes du néogène semblables à celles que nous venons de décrire. A Soamanitsa le grand talus intérieur, dont la base se trouve entre + 60 m et + 80 m, est entièrement entaillé dans les grès calcaires à *Aepyornis*.

En deux endroits de la plaine côtière — à 2,5 km à l'Ouest du village de Soamanitsa, et au fond d'un petit cirque entaillé au pied du piton appelé Vohipaha — affleure un horizon à sables grossiers aréniques et granules ferrugineux liés par une argile blanche, qui s'apparente par son faciès aux dépôts néogènes précédemment décrits. Etant donné la proximité des affleurements du cristallin et le caractère anguleux du matériel siliceux, il est possible qu'il s'agisse de résidus de la décomposition sur place des roches grenues du socle.

Au delà du Vohipaha nous n'avons plus relevé d'affleurements présentant les faciès du néogène continental.

*Les caractères généraux de la sédimentation continentale néogène.*

Les coupes que nous venons de décrire permettent de dégager les caractères principaux de la sédimentation présumée néogène dans cette région. Le trait le plus frappant est le changement extrêmement rapide des faciès du néogène dans le sens vertical et dans le sens horizontal.

Qu'il s'agisse de formations argileuses, calcaires ou siliceuses, la disposition est toujours lenticulaire. Il n'existe aucun horizon repère de quelque continuité.

Un autre caractère de ce néogène est la fréquence des éléments quartzeux soit sous la forme de sables aréniques ou roulés et de gravillons à liant argileux, soit sous la forme de bancs siliceux grésifiés. Il s'agit de matériaux en partie au moins originaires du socle cristallin.

L'examen de détail des pendages des strates indique généralement une origine septentrionale de ce matériel.

L'existence d'une stratification de type fluviatile prouve la mise en place d'une partie au moins de ces formations par ruissellement au fond de lits d'oueds ou par « sheet flood ».

On remarque enfin les fréquentes variations de couleur des assises argileuses, qui donnent des indications intéressantes sur le climat sous lequel ont été mis en place ces dépôts. Les couleurs rouge vif sont dues surtout à la présence d'oxydes de Fe ($Fe_2O_3$ cristallisant en hématite). Les teintes bleues sont liées à la présence d'oxydes ferreux pauvres en oxygène (FeO). Les teintes jaunes résultent de la précipitation ou de la cristallisation d'oxydes ferriques plus ou moins riches en eau. Les teintes noires ou violettes sont produites par l'association du fer et de l'oxyde de manganèse.

D'une manière générale les teintes rouge-vif sont liées à l'existence d'un climat chaud et humide (Birot, 1955). Les teintes violettes dues à la présence d'oxyde de manganèse caractérisent un climat chaud et aride. Les teintes bleutées n'ont pas de signification climatique précise : il se forme des argiles bleutées sous les climats les plus variés, allant du climat tempéré froid et humide ou tempéré sec, aux climats tropicaux.

Les sols silicifiés donnent aussi une indication paléoclimatique ; on sait en effet qu'actuellement la silicification s'exerce dans les régions chaudes et arides ou du moins possédant un climat caractérisé par une saison sèche assez longue ; la silice n'entre facilement en solution colloïdale qu'aux températures élevées, et est précipitée ensuite selon les cas soit *per ascensum*, (dalles du type « pierre de Stonne ») soit *per descensum*.

Les accumulations massives d'hydrates de fer en concrétions ferrugineuses sont caractéristiques, toujours selon P. Birot (1955), d'un climat tropical. Il faut les distinguer des lits ferrugineux des podsols, qui ne contiennent qu'une limonite à faible teneur en Fe (3 ou 4 %), alors que les accumulations latéritiques ont souvent une teneur supérieure à 40 %.

En résumé il semble établi que le complexe néogène dont nous avons décrit un certain nombre de coupes a été mis en place au cours de périodes climatiques alternativement chaudes et humides et chaudes et sèches.

### 5° Le passage du tertiaire marin aux grès calcaires dunaires a l'extrémité du cap Sainte-Marie (fig. 14)

A l'extrémité du cap Sainte-Marie, à 200 m au Sud du lieu dit Betofoka, les coupes naturelles dans la falaise marine actuelle montrent le

passage direct de la sédimentation marine tertiaire à la sédimentation dunaire qui caractérise une partie des assises gréso-calcaires du cap : le régime dunaire s'établit aussitôt après la mise en place d'un poudingue de régression qui marque le retrait de la mer tertiaire. La succession des assises est de bas en haut la suivante :

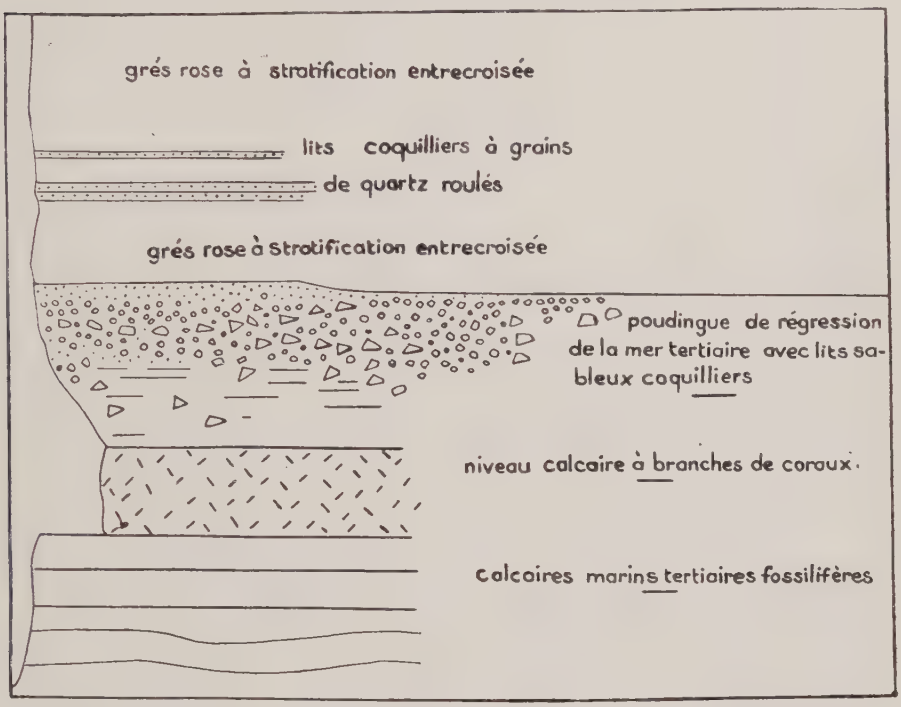



Fig. 14. — Coupe naturelle à la base de la grande falaise du cap Sainte-Marie, au lieu dit Betofoka, montrant le passage des assises marines tertiaires aux grès roses dunaires pré-Aepyorniens.

*a*) calcaire tertiaire blanc ou crème à faune marine de gastéropodes et de lamellibranches, jusqu'au niveau des plus hautes mers actuelles ;

*b*) calcaire blanc verdâtre à branches de corail brisées (80 cm) ;

*c*) poudingue de régression à petits galets de quartz et de calcaire tertiaire, et à faune de gastéropodes et de lamellibranches marins (1 m) ;

*d*) lits de sable coquillier (40 cm) à gros grains de quartz bien roulés du type « émoussé luisant » passant progressivement vers le haut à un grès calcaire rose ;

*e*) grès calcaire rose à stratification entrecroisée, d'origine dunaire (15 m environ) ; dans le premier mètre on remarque des microstrates de 3 à 10 cm d'épaisseur à grains de quartz roulés et débris coquil-

liers, mises en place avant l'établissement définitif du régime dunaire ;

*f*) grès calcaires jaunes ou blancs à débris d'œufs d'*Aepyornis* et mollusques terrestres, qui constituent la masse principale des terrains du cap sur une épaisseur d'environ 170 m.

On remarque que les couches marines inférieures sont déformées et présentent des pendages locaux de plusieurs degrès. Ces pendages s'atténuent vers le haut de la série marine dans les couches contemporaines de l'émersion. Il est probable que le retrait de la mer est consécutif aux mouvements du sol qui se sont marqués par le dérangement des assises inférieures.

Cette coupe montre qu'à l'extrémité du cap Sainte-Marie le régime dunaire a immédiatement succédé à la régression marine tertiaire. Dans ces conditions, si l'on considère comme éocène l'ensemble de la série marine (*cf.* cartes géologiques et notices de ces cartes) il semble difficile d'attribuer un âge quaternaire à la totalité de la série grésocalcaire continentale (y compris le grès rose) qui la surmonte. Nous éviterons généralement d'employer l'appellation d' « éocène » lorsque nous parlerons des calcaires marins tertiaires, ou d'attribuer un âge quaternaire à l'ensemble de la série dunaire du cap Sainte-Marie. Les âges attribués jusqu'à présent à ces séries sédimentaires nous semblent incertains.

Il semble qu'au moins une partie de la série dunaire qui recouvre le tertiaire marin au cap Sainte-Marie doive être rangée dans le tertiaire supérieur. A titre provisoire, et en attendant les indications que pourrait fournir un étude éventuelle plus précise des faunes, nous rangeons au moins les grès calcaires roses — dans lesquels nous n'avons pas trouvé de débris d'œufs d'*Aepyornis* — dans le tertiaire supérieur (1).

---

(1) Cette interprétation s'appuie aussi sur les résultats de l'analyse de la microfaune marine de l'horizon *d* (lits de sable coquillier à gros grains de quartz roulés) qu'à bien voulu effectuer le Centre d'Etudes de Micropaléontologie de la Sorbonne et que nous venons de recevoir après la rédaction de ce mémoire. L'examen de plaques minces taillées dans un échantillon de cet horizon a montré l'existence de débris divers avec « petits Foraminifères le plus souvent indéterminables, Lagénidés, Globigérines, Rotalidés, Textularidés, etc,..., Algues Mélobésiées, et Mollusques », et la présence problématique de très rares Rosalines remaniées (*Globotruncana* du Crétacé supérieur) ?.

M. le Professeur Cuvillier, qui a bien voulu examiner cet échantillon, et que nous tenons à remercier ici, pense que cette roche, qui correspond à une sédimentation de très faible profondeur, a un âge post-miocène. Cette opinion obligerait dans ce cas à reculer jusqu'au tertiaire supérieur l'âge des couches marquant le retrait de la mer dite « éocène » dans la région du cap Ste-Marie. La dune rose qui suit immédiatement cette régression serait probablement d'âge pliocène et contemporaine de la mise en place d'une partie au moins des sédiments continentaux groupés sous l'appellation de « néogène continental » qui affleurent plus au Nord ».

Ces grès roses n'existent pas sur la face orientale du cap. Au lieu dit Ampasimbe les grès calcaires jaunâtres à débris d'œufs d' *Aepyornis* descendent en effet jusqu'au dessous du niveau marin actuel.

### Les terrains aepyorniens

Nous rangeons dans l'Aepyornien tous les dépôts mis en place postérieurement au grand glacis sédimentaire présumé néogène, et contenant, en même temps qu'une faune très riche de mollusques terrestres, des débris d'œufs d'*Aepyornis*. Ces dépôts se prolongent jusqu'à une période tout à fait récente, et probablement historique, qui a vu la disparition des derniers *Aepyornis* dans la Grande Ile. Il est impossible de préciser si l'Aepyornien de l'extrême Sud de Madagascar coïncide exactement avec le quaternaire européen ou africain. Il est probable que non. En l'absence de toute industrie préhistorique et de repères climatiques suffisamment nets il est impossible d'établir, du moins pour le moment, des corrélations valables avec d'autres régions. On peut espérer parvenir un jour à une meilleure définition du Quaternaire de l'extrême Sud de Madagascar par une comparaison des terrasses marines et fluviatiles de la Grande Ile avec celles de l'Afrique du Sud — qui contiennent des industries préhistoriques — et peut-être aussi par une comparaison des faunes continentales, en particulier des faunes de mollusques terrestres. Mais peu de recherches ont été poursuivies jusqu'à présent à Madagascar dans cette direction. Signalons toutefois les travaux de P. Jodot (1952) ; cet auteur essaye d'établir, par la comparaison des faunes de mollusques terrestres, des corrélations avec le quaternaire Sud-africain. Il avoue la fragilité de telles corrélations.

Les coupes naturelles de la bordure littorale Karimbola montrent l'existence dans cette région de trois phases principales de sédimentation, de durée très inégale, au cours de l'Aepyornien. Lors d'une première phase, de beaucoup la plus longue, a été mise en place l'épaisse série gréso-calcaire qui constitue l'essentiel de la grande falaise du cap Sainte-Marie au-dessus des calcaires marins tertiaires, et le talus intérieur des plaines côtières de Lavanono et de Tsivaha au-dessus du néogène continental. Au cours d'une seconde phase, l'Aepyornien ancien et les terrains qu'il recouvre ont été attaqués par une transgression de la mer jusqu'à + 3 m environ au-dessus du niveau des plus hautes mers actuelles ; nous donnons à cette transgression marine le nom de « karimbolienne ». La troisième et dernière phase, contemporaine d'une régression marine postérieure aux maximum karimbolien, a été marquée par de grands épandages détritiques qui, sous un climat plus humide que le climat actuel, ont recouvert les dépôts marins et dunaires

karimboliens, et fossilisé en partie la base de la falaise morte karimbolienne. Nous donnons à cette série détritique le nom de « lavanonienne ». Enfin, depuis une époque tout à fait récente, l'ensemble de ce matériel est à nouveau attaqué par une érosion marine et fluviatile en relation avec une remontée flandrienne du niveau de la mer.

### 1° L'AEPYORNIEN ANCIEN

Les plus belles coupes sont celles de l'extrémité du cap Sainte-Marie. L'épaisse série qui affleure en cet endroit est composée, sur 200 m d'épaisseur environ, d'une succession de bancs gréso-calcaires à débris d'œufs d'*Aepyornis* et mollusques terrestres (1), alternativement de couleur blanche, jaunâtre ou franchement jaune. Un certain nombre de ces bancs, surtout à la base de la série, présentent une stratification entrecroisée de type dunaire très caractéristique. La figure 15 montre deux de ces horizons dunaires, séparés par des bancs à stratification sensiblement horizontale ou sans stratification. Dans l'une

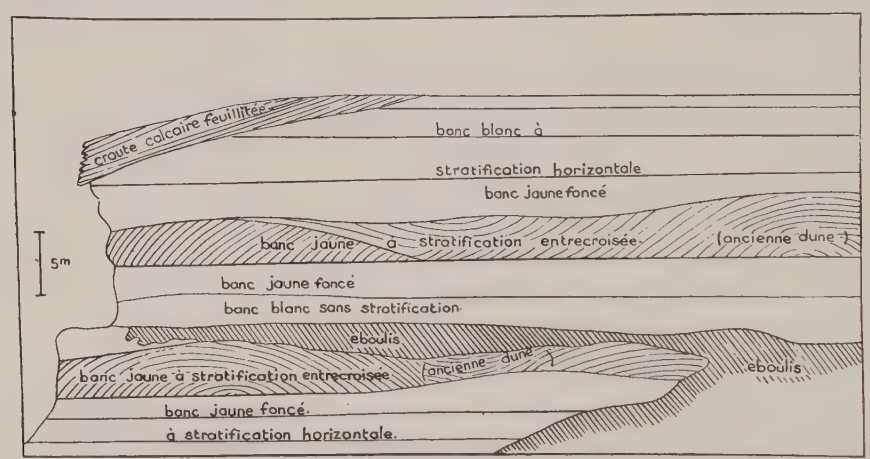



Fig. 15. — Superposition de bancs gréso-calcaires d'origine dunaire, et de bancs à stratification horizontale ou sans stratification à l'extrémité du cap Sainte-Marie.

des sections de la grande falaise on relève en superposition une demi-douzaine de bancs d'origine dunaire ayant chacun de 3 à 8 m d'épaisseur, séparés les uns des autres par des bancs sans stratification. Nous interprétons cette épaisse série du cap Sainte-Marie comme résultant

(1) Les espèces les plus fréquentes sont les suivantes : *Clavator clavator* (PETIT), *Clavator subobtusatus* (CROSSE et FISCHER), *Clavator Grandidieri* (CROSSE et FISCHER), *Tropidophora, carinifera, Tropidophora Grandidieri* (CROSSE et FISCHER), *Tropidophora crenulata* (FULTON), *Tropidophora Coquandi* (PETIT), *Ampelita hova, Helicophanta vesicalis.*

d'une succession de phases dunaires — au cours desquelles une dune était mise en place, puis probablement consolidée — et de phases de nivellement — au cours desquelles la dune était arasée, puis recouverte de débris fins, sans doute en majeure partie apportés par le vent et le ruissellement, déposés en lits horizontaux. Il s'agit donc d'un complexe dont la mise en place a certainement pris un temps très long, peut-être 10 ou 20 fois celui que prit la mise en place des terrains de l'Aepyornien moyen et supérieur réunis. Cette interprétation est confirmée par les caractères typiquement dunaires de la morphologie du plateau Karimbola lui-même, dont la surface topographique correspond dans l'ensemble à la surface terminale à peine modifiée de cette longue phase de sédimentation.

A des niveaux divers s'intercalent des bancs lenticulaires de calcaire blanc, désignés dans la région sous le nom de calcaires à ranovato. Ces calcaires ont pu se former soit par exsudation en climat sec du carbonate de chaux (croûtes calcaires), soit avoir une origine lacustre. Ainsi que le fait remarquer J. Archambault (1956) l'homogénéité de la roche et sa blancheur sont défavorables à la première hypothèse : les croûtes calcaires sont habituellement zonées, et de couleur rose ou saumon. La faible étendue et l'horizontalité fréquente des affleurements ainsi que les altitudes diverses auxquelles on observe de telles lentilles calcaires s'accorderait bien avec une origine lacustre. Ces calcaires correspondraient alors à des dépôts dans des mares d'eau douce situées dans les sillons entre les crêtes dunaires.

### 2° L'Aepyornien moyen et supérieur

La « Grande Dune » de l'Aepyornien ancien, formée de grès calcaires et de calcaires rubéfiés en surface, est érodée vers le Sud par la transgression marine de l'Aepyornien moyen. Cette transgression, que nous appelons karimbolienne, est à l'origine de l'entaille brutale du grand talus dans les formations de l'Aepyornien ancien en arrière des plaines de Lavanono et de Tsivaha, entaille ultérieurement retouchée par l'érosion subaérienne à l'Aepyornien supérieur et jusqu'à la période actuelle. Une « Petite Dune », toujours grésifiée, accompagne ou suit immédiatement la mise en place des dépôts marins karimboliens. Dans la plaine côtière de Lavanono et de part et d'autre du cap Sainte-Marie, « Grande Dune », « Petite Dune », et dépôts marins karimboliens sont recouverts par une série continentale qui atteint par endroits une quarantaine de mètres d'épaisseur. Cette série continentale, à laquelle nous donnons le nom de « Lavanonien », est constituée par des sables fluviatiles jaunes, des lits de poudingues fluviatiles, et des brèches de pente à *Aepyornis* et mollusques terrestres, provenant du démantellement et du recul du grand talus.

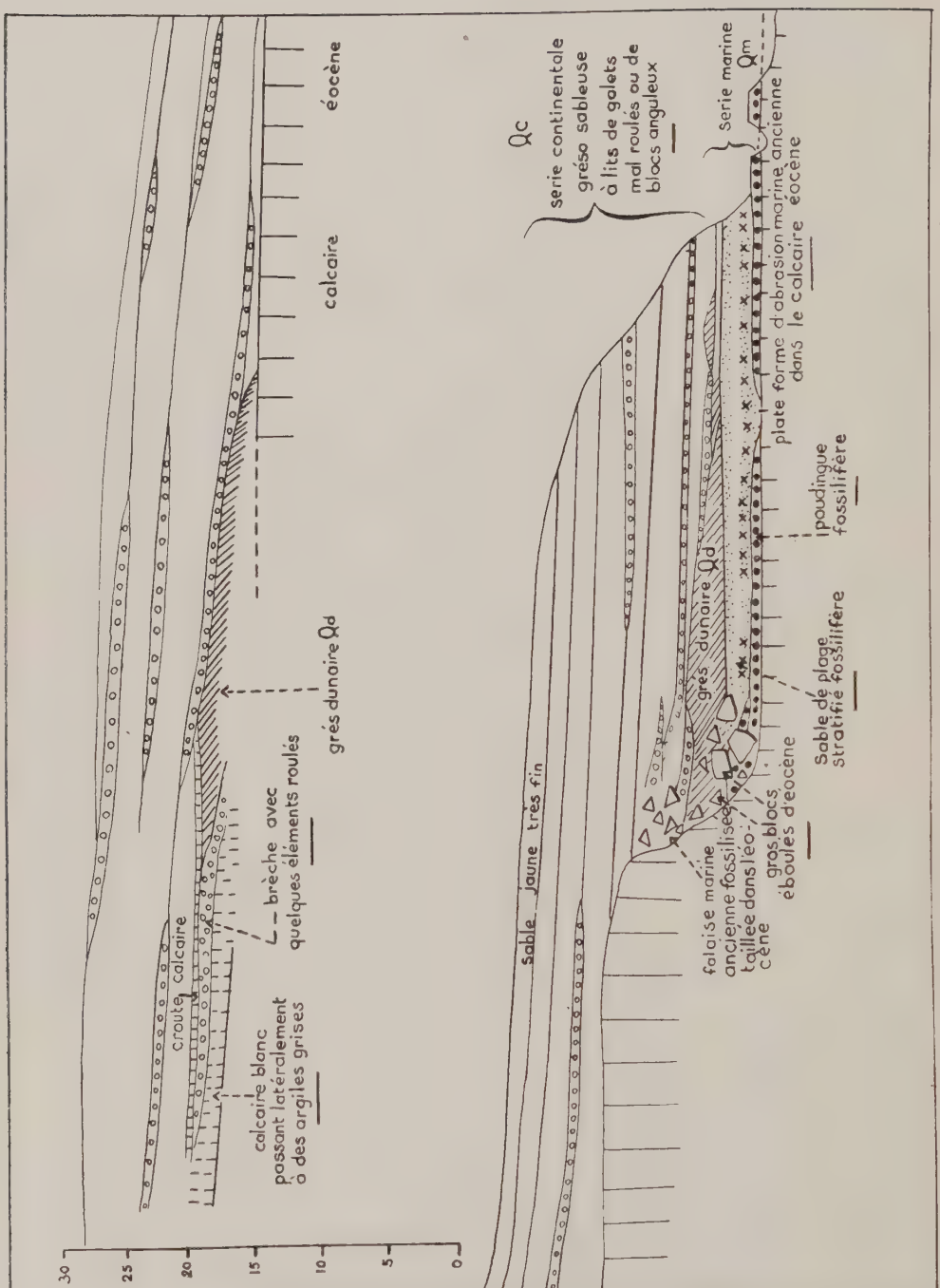



Fig. 16. — Coupe naturelle à l'embouchure de la rivière d'Ampainaoka.
(Echelle des hauteurs multipliée par 10).

Les coupes les plus caractéristiques qui permettent d'étudier en affleurement ces terrains sont situées en majeure partie sur le littoral occidental du cap Sainte-Marie.

Entre Beandrovo et Betofoka, soit sur une dizaine de kilomètres, les dépôts de plage karimboliens se suivent de manière presque continue sur l'estran et au-dessus du niveau des plus hautes mers jusqu'à + 3 m environ. Ces dépôts de plage sont toujours consolidés. Ils sont constitués par des grès calcaires contenant une très riche faune de mollusques marins (1), des grès de plage à débris de corail roulés, et des poudingues à galets marins. Ils viennent s'appuyer contre une falaise marine ancienne karimbolienne généralement entaillée dans le sommet de la série des calcaires marins tertiaires. Cette falaise marine correspond au maximum de la transgression karimbolienne. Au-dessus du karimbolien marin, les coupes naturelles dans la falaise marine actuelle ou au débouché des petites ravines fluviatiles qui descendent du rebord du plateau intérieur montrent en superposition les grès dunaires littoraux de la « Petite Dune » et les formations continentales lavanoniennes.

*La coupe de l'embouchure de la rivière d'Ampainaoka* (fig. 16)

Cette coupe montre de bas en haut la succession suivante :

— Reposant sur une plate-forme d'abrasion marine façonnée dans les calcaires marins tertiaires, 3 mètres de sédiments de plage comprenant des sables stratifiés fossilifères, des gravillons coralliens consolidés, et un poudingue de base à galets de calcaire marin tertiaire (Pl. V, B). Ces dépôts marins montent jusqu'à 3 m au-dessus du niveau des plus hautes mers actuelles.

— 3 à 5 mètres de grès siliceux à stratification entrecroisée, correspondant à une dune littorale ancienne constituée par le même matériel sableux que l'horizon marin inférieur, mais sans coquilles entières.

— 20 mètres de dépôts continentaux à débris d'œufs d'Aepyornis comprenant une superposition de lits de sable jaune régulièrement stratifiés, meubles ou à des degrés divers de grésification, des poudingues fluviatiles en lits en pente de 3 à 5 pour cent vers la mer, et des intercalations bréchiques (série lavanonienne) (Pl. V. A). Les sédiments marins et dunaires s'appuient à une falaise morte d'une dizaine de mètres de commandement, taillée dans les calcaires marins tertiaires, et en retrait de 30 m environ en arrière de la ligne de rivage actuelle ; cette falaise morte apparaît nettement dans l'entaille créée par la rivière d'Ampainaoka, qui l'a localement exhumée des dépôts continentaux supérieurs.

(1) Cette faune à caractère tropical, qui comprend une centaine d'espèces, est actuellement en cours d'étude.

*La coupe de l'Ambatomane, au lieu dit Andranofotsy* (fig. 17)

Cette coupe, située sur le bord de mer à 1 km environ au Nord de la précédente, montre de bas en haut, la succession suivante :

— Reposant sur une plate-forme d'abrasion marine façonnée dans les calcaires marins tertiaires, et s'appuyant à la base d'une falaise morte entaillée dans les mêmes calcaires, 2 à 3 mètres de sédiments de plage comprenant un poudingue de base coquillier à gros galets de calcaire tertiaire et des lits grésifiés de sable de plage fossilifères qui remontent jusqu'à 3 m environ au-dessus du niveau des plus hautes mers actuelles.

— Une brèche à très gros blocs de calcaire tertiaire et à fragments de croûte calcaire contenant des coquilles de mollusques terrestres, épaisse d'une dizaine de mètres. Cette brèche correspond probablement à un talus d'éboulis formé par la destruction de l'abrupt de la falaise marine karimbolienne après le retrait de la mer.

— Un grès dunaire à stratification nettement entrecroisée, épais d'une dizaine de mètres. Dans la partie occidentale de la coupe, cette dune ancienne se superpose directement aux horizons marins. Dans la partie orientale au contraire elle vient en recouvrement par-dessus la brèche. Cette dune ancienne a été mise en place en plusieurs fois — ainsi que le prouve l'existence des joints *d* 1 et *d* 2 — d'abord en même temps que les dépôts marins avec lesquels elle interfère, puis en même temps que la brèche qu'elle pénètre en partie, enfin après le dépôt de cette brèche.

— Une croûte calcaire peu épaisse qui carapaçonne les grès dunaires.

— Sur une épaisseur de 15 à 20 m des sables et des grès continentaux à intercalations de poudingues ou des brèches de pente contenant des débris d'œufs d'*Aepyornis* (série lavanonienne).

— Une croûte calcaire feuilletée de 20 à 50 cm d'épaisseur qui carapaçonne la série continentale supérieure.

*La coupe d'Ankorokoke* (fig. 18)

Cette coupe, située entre le débouché de la rivière d'Ampainaoka et le lieu dit Ankorokoke et plus près de ce dernier point, montre de bas en haut la succession suivante :

— Reposant sur une plate-forme d'abrasion marine façonnée dans les calcaires marins tertiaires, 50 cm de gros galets, mélangés à quelques blocs anguleux et recouverts par un sable grésifié marin bourré de fossiles (épaisseur 1,50 m).

— 15 à 20 m de dépôts continentaux à débris d'œufs d'*Aepyornis* (lavanonien) comprenant des grès jaunes très fins et souvent pulvérulents, des lits de petits galets fluviatiles de calcaire marin tertiaire, de gros blocs anguleux dépassant parfois 1,30 m avec de petits

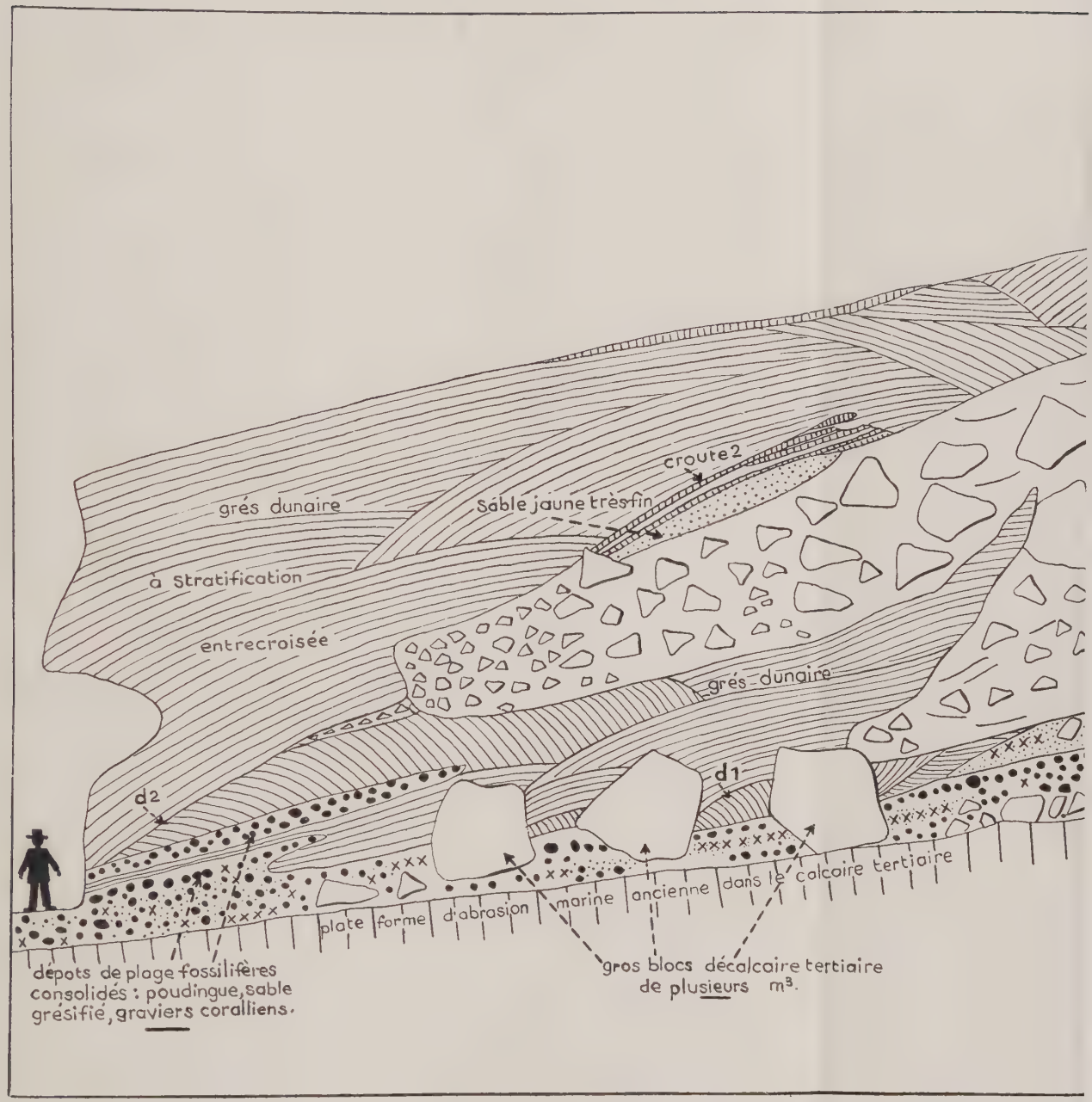
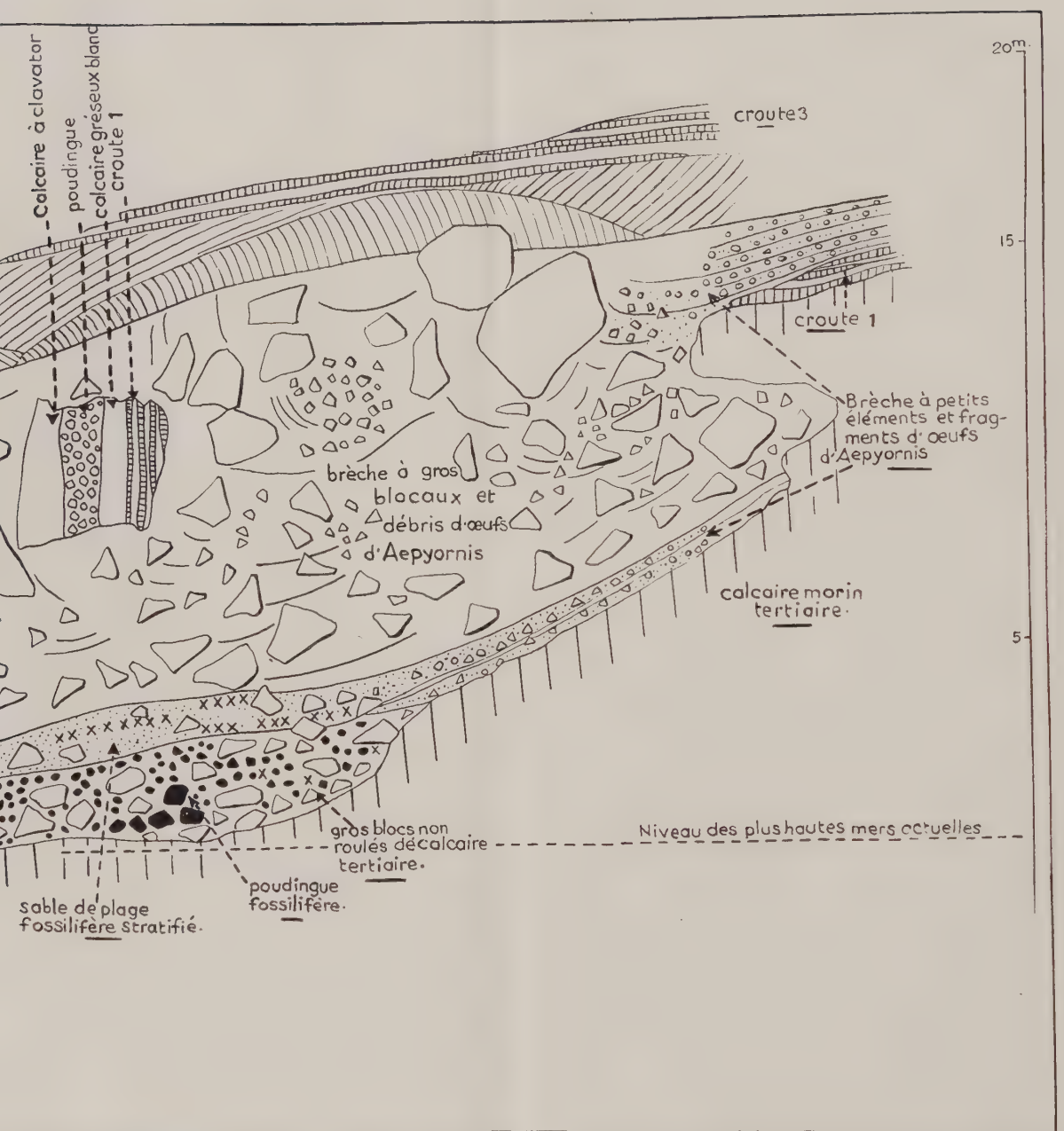



Fig. 17. — Partie inférieure de la Co
Andranofotsy. *d1* et *d2* : joints marq
principales phases de la mise en pla




upe de l'Ambatomane, au lieu dit
uant une discordance entre les trois
ce de la dune grésifiée.

galets dans les interstices, enfin des niveaux de brèches à petits blocs anguleux.

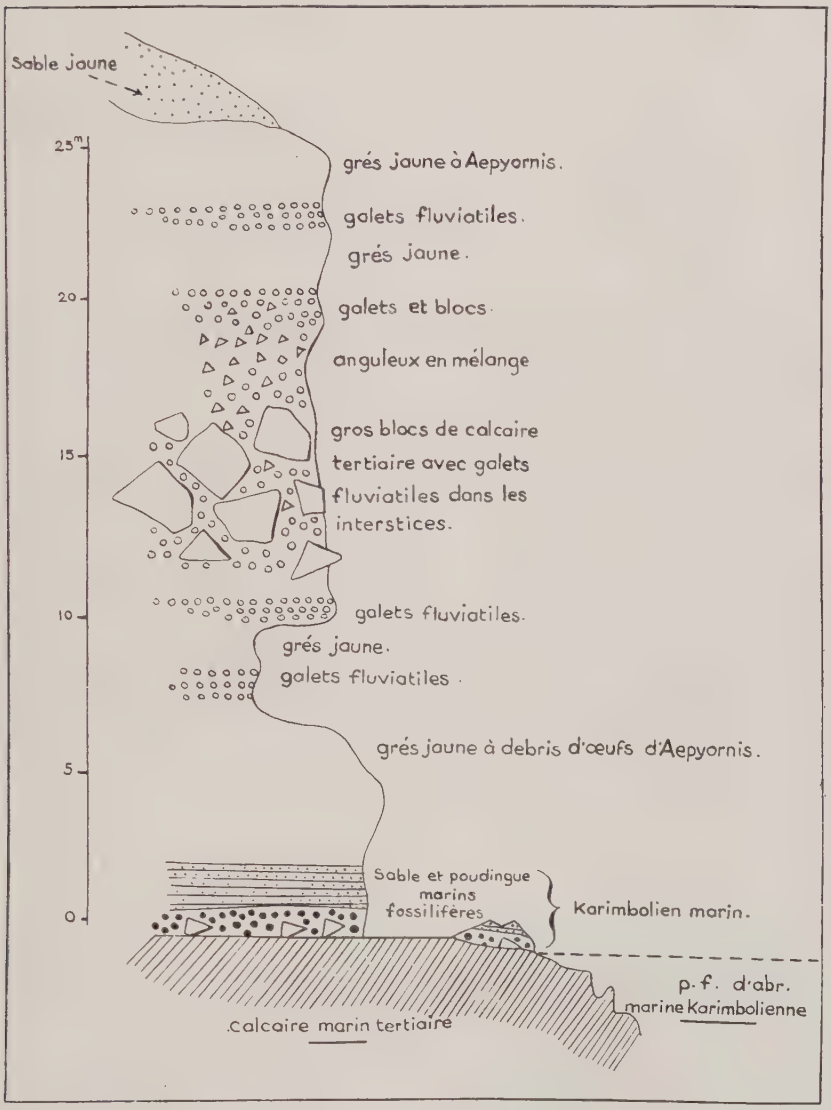



Fig. 18. — Coupe naturelle dans la falaise marine actuelle au lieu dit Ankorokoke. Le tireté indique le niveau des hautes mers moyennes actuelles.

— Couronnant la série lavanonienne, une croûte calcaire à empreintes de mollusques terrestres en partie recouverte par des sables jaunes très fins non consolidés.

Cette superposition de terrains s'observe presque sans interruption tout le long de la falaise marine actuelle sur 3 km environ au Nord du débouché de la rivière Ankimohory.

*Les coupes de Betofoka* (fig. 19 et 20)

A partir de 1 km au Sud du débouché de la rivière Ankimohory, la falaise marine fossile karimbolienne rejoint la ligne de rivage actuelle. Au lieu dit Betofoka cette falaise fossile est exhumée du Lavanonien. Des dépôts de plage et des lambeaux de grès dunaires karimboliens consolidés sont en voie de destruction à son pied par l'érosion marine actuelle (fig. 19). En un endroit un reste de plage ancienne a été conservé dans une anfractuosité de la falaise marine fossile.

Les sédiments marins karimboliens — poudingues fossilifères, sables de plage grésifiés, gravillons coralliens à ciment calcaire — sont interstratifiés entre des coulées de brèches à ciment sableux très fin de couleur jaunâtre.

En se rapprochant de l'extrémité du cap Sainte-Marie, le poudingue marin de base épais de 2 à 4 m contient des blocs de plus en plus nombreux de grès rose de plusieurs $m^3$, éboulés de la falaise lors du maximum marin karimbolien : ces blocs proviennent des horizons dunaires pré-Aepyorniens qui se superposent au tertiaire marin (fig. 20). La partie supérieure des dépôts marins karimboliens est constituée par des lits de plage à débris roulés de coraux, et par des sables de plage de granulométrie plus fine. L'ensemble des formations marines karimboliennes est recouvert par des coulées de sable jaune pulvérulent parfois consolidées en un grès tendre, et provenant du démantèlement des assises de l'Aepyornien ancien qui constituent la majeure partie de la grande falaise du cap Sainte-Marie.

*La coupe d'Ampasimbe* (fig. 21).

Au lieu dit Ampasimbe, à l'extrémité du cap Sainte-Marie, les dépôts de plage karimboliens reposent sur les grès calcaires de l'Aepyornien ancien qui arrivent à cet endroit jusqu'au niveau des plus basses mers actuelles et constituent la plate-forme d'abrasion marine karimbolienne. Le quaternaire marin, représenté par les mêmes faciès que dans les coupes précédentes, est recouvert par des lambeaux dunaires grésifiés. En un endroit, des sables coralliens bourrés de fossiles marins remplissent une anfractuosité de 1 m au-dessus du niveau des plus hautes mers actuelles, à la base de la grande falaise taillée dans les grès calcaires de l'Aepyornien ancien : nous sommes en présence du pied de la falaise fossile karimbolienne, exhumée et en voie de rajeunissement par la transgression flandrienne.

## LEGENDES DES PLANCHES VII à IX

### Planche VII

A. — Petites nebkas colonisées par la patate à Durand sur la plage d'Ankatravitra.

B. — Pinacles résiduels couverts d'huîtres au Cap Sainte-Marie. La surface lisse entre les pinacles est façonnée dans la roche en place.

### Planche VIII

A. — La rivière d'Ampainaoka. Haut rebord de plateau dans l'Aepyornien ancien. Piedmont lavanonien entaillé profondément par le réseau hydrographique actuel.

B. — Ankatravitra. Partie inférieure de l'estran grésocalcaire. *A gauche* le rebord externe de la plateforme de haute mer (ressaut de mi-marée). *Au premier plan*, le sillon central de la plateforme inférieure, du type peu profond à grandes vasques. Ecoulement de l'eau dans le sillon vers la droite. *Au second plan*, le rempart externe avec un escalier de vasques à écoulement vers le sillon central.

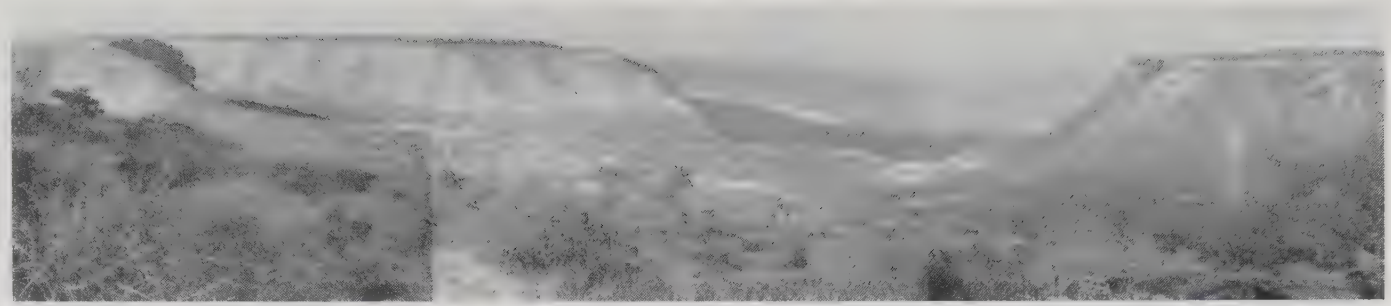
### Planche IX

A. — Le Cap Sainte-Marie vu de l'Ouest. *Au premier plan*, dalles de grès de plage karimbolien.

B. — Le littoral entre Ampasimbe et Olemoka. *A gauche* ressaut de haute mer. *Au premier plan*, plateforme de haute mer, et ressaut de mi-marée. *Au second plan* à droite, la plateforme inférieure à moitié immergée. On devine le ressaut de basse mer contre lequel les vagues se brisent.

A

B



A

B

A

B

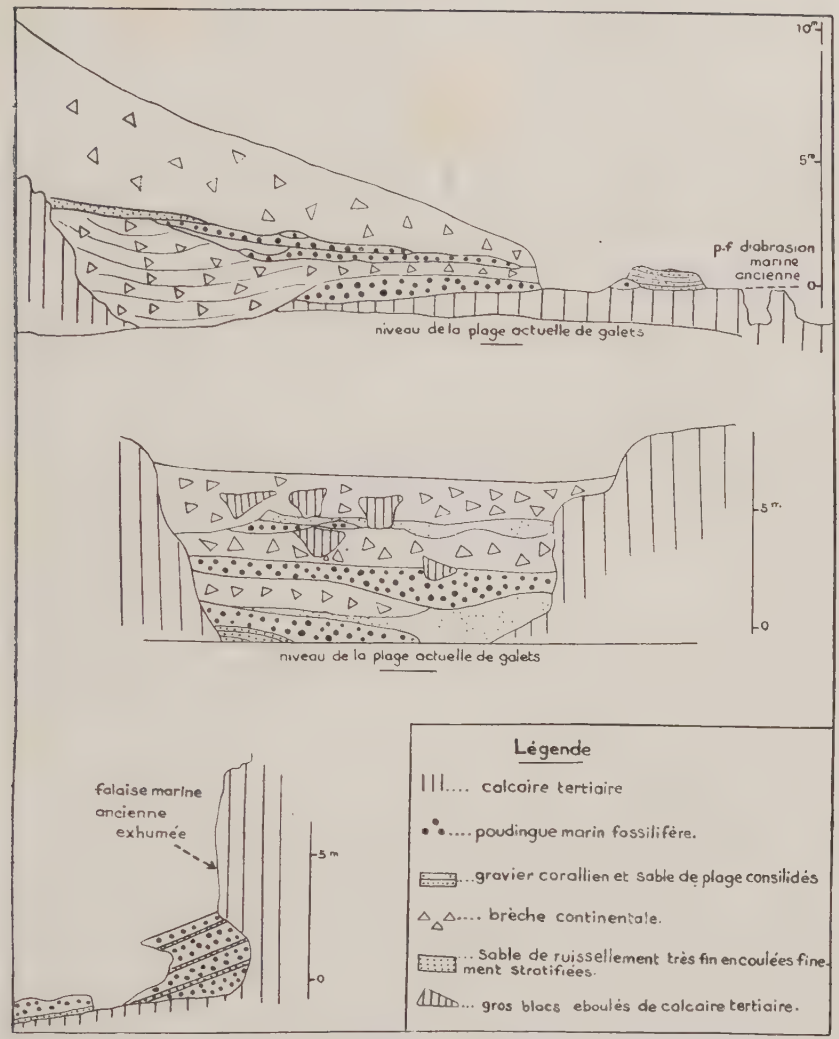



Fig. 19. — Trois coupes naturelles à travers les terrains quaternaires au lieu dit Betofoka (à l'Ouest de l'extrémité du Cap Sainte-Marie).

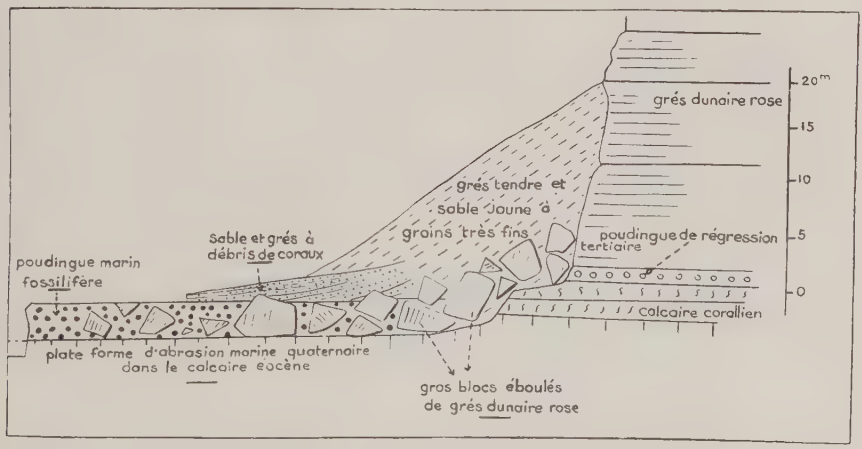



Fig. 20. — Coupe naturelle à travers les terrains quaternaires et tertiaires au lieu dit Betofoka (à l'Ouest de l'extrémité du Cap Sainte Marie).

Les dépôts marins et dunaires de l'Aepyornien moyen sont recouverts par des coulées d'éboulis à très gros blocs d'Aepyornien ancien et liant sableux jaune plus ou moins consolidé, qui sont l'homologue des dépôts du Lavanonien décrits dans les précédentes coupes.

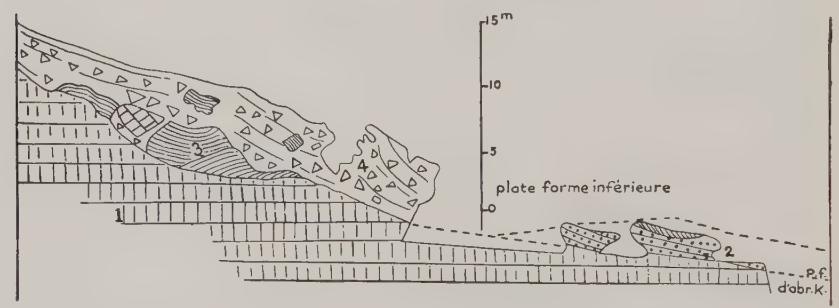



Fig. 21. — Coupe à travers les terrains quaternaires au lieu dit Ampasimbe. Le zéro est celui des plus hautes mers actuelles. 1 : grès-calcaire de l'Aepyornien ancien. — 2 : sable grossier marin karimbolien. — 3 : dune littorale grésifiée karimbolienne. — 4 : brèche de pente lavanonienne à blocs de 1 et de 3. — *p.f. d'abr. m.* : plateforme d'abrasion marine karimbolienne façonnée dans 1.

De part et d'autre du cap Sainte-Marie les dépôts marins karimboliens disparaissent des coupes de la falaise actuelle. La raison en est extrêmement simple. Sur les dix kilomètres de côte du cap, la ligne de rivage actuelle coïncide presque partout sensiblement avec la ligne de rivage karimbolienne (fig. 30). C'est pour cette raison que les coupes qui montrent des dépôts de plage anciens jusqu'à 3 m au-dessus des plus hautes mers actuelles (altitude moyenne du maximum de la transgression ancienne) y sont particulièrement abondantes. Lorsque l'on s'éloigne du cap en se dirigeant vers l'Est ou vers l'Ouest, la ligne de rivage karimbolienne pénètre à l'intérieur des terres et se trouve sensiblement en retrait de la ligne de rivage actuelle. Les dépôts marins anciens correspondants ne se trouvent à une altitude supérieure au niveau actuel de la mer qu'assez loin à l'intérieur des terres, sous les dunes et les épandages continentaux plus récents, et pour cette raison ils échappent à l'observation. Sur la ligne de rivage actuelle, ils se trouvent au contraire en profondeur. Cette profondeur est sans doute proportionnelle à la distance séparant la ligne de rivage actuelle de l'ancienne.

*La coupe des grottes d'Olemoka* (fig. 22)

Située à l'Est du lieu dit Ampasimbe, cette coupe montre de bas en haut la succession suivante :

— Dans la zone de balancement des marées des grès à fossiles marins correspondant aux dépôts de la mer karimbolienne.

— En superposition directe sur ces dépôts marins, 8 m d'un grès jaune pulvérulent à nombreux débris d'œufs d'*Aepyornis* et à mollusques terrestres. Ces grès, qui contiennent des blocs anguleux épars de grès de l'Aepyornien ancien ou de croûtes calcaires fragmentées, correspondent au Lavanonien.

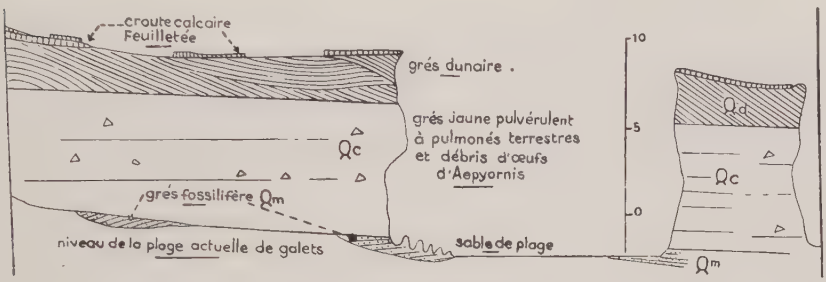



Fig. 22. — Coupe naturelle à travers les terrains quaternaires au lieu dit Olemoka.

— 3 à 5 m de grès dunaire à stratification entrecroisée correspondant à la dune de régression post-karimbolienne. La surface supérieure de ce grès est carapaçonnée par une croûte calcaire feuilletée de plusieurs dizaines de centimètres d'épaisseur.

*La coupe d'Ambatomivola*

A l'Est d'Olemoka la ligne de rivage ancienne s'enfonce de plus en plus à l'intérieur des terres et le Karimbolien marin disparaît progressivement du profil de l'estran. Au lieu dit Ambatomivola il se trouve au-dessous du niveau des plus basses mers actuelles. Seuls affleurent sur l'estran et dans la falaise marine actuelle les deux derniers termes de la coupe d'Olemoka : les grès jaunes pulvérulents à *Aepyornis*, et au-dessus le grès siliceux à stratification entrecroisée et fins débris coquilliers pulvérisés.

La présence de dépôts attribuables au Lavanonien sous la dune consolidée ancienne ne constitue pas une anomalie par rapport aux précédentes coupes. Les coupes décrites à Andranofotsy et à Betofoka ont montré en effet que les épandages continentaux lavanoniens ont commencé dès le début de la régression marine post-karimbolienne, et même que certaines intercalations de faible épaisseur sont contemporaines du maximum de la transgression.

Le long du littoral de l'amorce orientale de la plaine de Lavanono on observe aussi un enfoncement en profondeur de l'horizon marin karimbolien en liaison avec l'éloignement de l'ancienne ligne de rivage à l'intérieur des terres. On suit encore sur l'estran les dépôts de plage anciens jusqu'au débouché de la rivière Kalandramia, mais plus à l'Ouest ces dépôts disparaissent au-dessous du niveau des plus basses mers actuelles. On les retrouve sur l'estran et dans l'entaille de la rivière d'Antaramaitsy, à 9 km à l'Ouest de la Kalandramia.

*La coupe d'Antaramaitsy*

L'entaille de la rivière d'Antaramaitsy permet d'observer une coupe à travers la partie la plus externe de la plaine côtière de Lavanono, qui a, en cet endroit, environ 3 km de largeur. Le Karimbolien, représenté ici par des grès à petits galets bourrés de fossiles marins, affleure sur l'estran en contrebas du cordon dunaire actuel ; on le retrouve à 300 m environ à l'intérieur de la plaine côtière dans le fond du lit de la rivière d'Antaramaitsy, 2 ou 3 m au-dessus du niveau des plus hautes mers actuelles. Ces dépôts de plage anciens sont recouverts par des grès dunaires à stratification entrecroisée, qui affleurent dans les versants de la ravine. Les grès dunaires sont recouverts eux-mêmes par des grès sableux jaunes à *Aepyornis* et à lits de galets fluviatiles, épais de 5 à 8 m, qui correspondent à la nappe détritique lavanonienne. En bordure de mer la dune actuelle recouvre le Lavanonien.

*La coupe de Lavanono* (fig. 23)

Au lieu dit Andranovato, à 200 m à l'Ouest du village de Lavanono, une coupe naturelle dans la falaise marine actuelle et sur l'estran, déjà signalée par R. Pavlowsky (1950), montre de bas en haut la succession suivante :

— Dans la partie inférieure de l'estran et jusqu'à la base du ressaut de mi-marée, un niveau argileux bleu-mauve (1 de la fig. 23) visible sur au moins 2 m d'épaisseur, faisant partie de la série néogène qui affleure aussi en d'autres parties de l'estran de Lavanono. Ce niveau argileux contient dans sa partie supérieure plusieurs lits de concrétions ferrugineuses (2). Il est raviné vers le haut, ainsi que les lits ferrugineux, par les horizons suivants.

— Des formations fluviatiles pré-karimboliennes qui comprennent des sables fluviatiles finement stratifiés jaunâtres à petits grains de quartz roulés et habillés d'une patine limonitique (3), des lentilles de galets — constitués par des débris roulés d'argile néogène durcie ou par des fragments roulés de concrétions ferrugineuses — cimentées en poudingue (4), enfin un grès fluviatile épais de 1,5 m environ (6).

— Un grès fin correspondant à la dune de transgression karimbolienne (7).

— Des dépôts de plage karimboliens fossilifères à galets de basalte contenant des éléments roulés et des blocs éboulés de tous les horizons inférieurs (8 et 9).

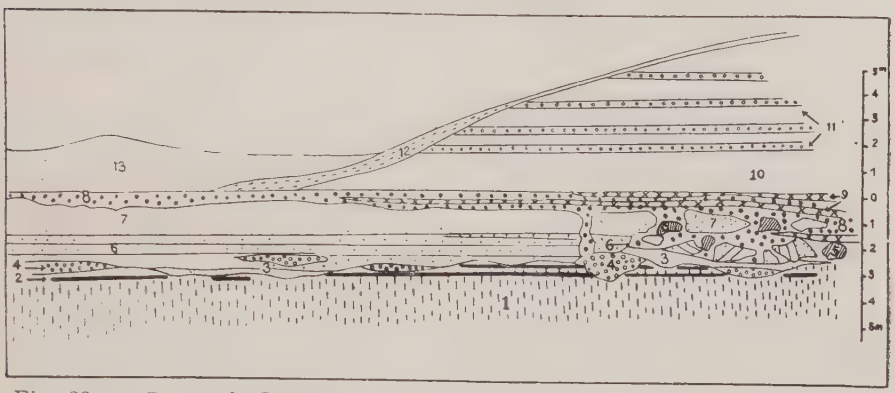



Fig. 23. — Coupe de Lavanono, au lieu dit Andranovato. Le zéro de l'échelle est celui des plus hautes mers actuelles. — 1 : argiles marines néogènes. — 2 : niveaux de concrétions ferrugineuses dans les argiles mauves. — 3 : sable fin jaunâtre fluviatile. — 4 : poches de petits galets et gravillon bien roulé fluviatiles. — 5 : blocs d'argile rouge néogène consolidée remaniés. — 6 : grès à éléments fluviatiles contenant des petits galets semblables à ceux de 4. — 7 : grès de la dune de transgression karimbolienne. — 8 : poudingue karimbolien à fossiles marins et à gros galets de basalte. — 9 : lits de sable de plage fossilifères et de gravillon corallien. — 10 : grès et sables jaunes lavanoniens à débris d'œufs d'Aepyornis et à mollusques terrestres. — 11 : lits de galets fluviatiles dans le Lavanonien. — 12 : sables fauves de dégradation du Lavanonien. — 13 : sable blanc de la dune actuelle.

— Un grès jaune pulvérulent continental, correspondant au Lavanonien, qui contient des débris d'œufs d'*Aepyornis* et des lits de galets fluviatiles (10 et 11).

— Enfin, coiffant la coupe, les sables blancs de la dune actuelle.

La coupe de Lavanono pose le problème de l'existence d'une période de ruissellement important antérieure au maximum marin karimbolien, et distincte du néogène. Les dépôts attribuables à cette période, représentés dans la coupe par les horizons 3, 4, et 6, ont un faciès très différent de celui des dépôts néogènes, et assez proche des faciès du Lavanonien (horizons 10 et 11). Ils ravinent les argiles néogènes et supportent la dune grésifiée qui annonce l'arrivée de la mer karimbolienne.

Dépôts fluviatiles et dunes de transgression étaient déjà cimentés au moment de l'arrivée de la mer karimbolienne. On en a la preu-

ve dans l'existence de cuvettes, probablement dues à la corrosion littorale, évidées dans le grès dunaire et remplies par les dépôts de plage anciens cimentés. On en a une autre preuve dans la présence, au milieu des dépôts de plage karimboliens, de blocs énormes de grès dunaires effondrés de la falaise ou plus probablement d'un ressaut de mi-marée fossile. Ces observations permettent de supposer qu'un climat favorable à la cimentation des sédiments sableux, probablement peu différent du climat actuel, régnait lors de la phase finale de la transgression karimbolienne.

L'existense d'une faune typiquement « chaude » de mollusques marins dans les dépôts de plage correspondants vient à l'appui de cette hypothèse.

*Les coupes du cap Andavaka* (fig. 24)

Entre Lavanono et de cap Andavaka les dépôts marins et dunaires karimboliens disparaissent pendant 16 km le long du littoral. La raison en est ici encore la position de la ligne de rivage ancienne, à nouveau nettement à l'intérieur des terres.On retrouve le karimbolien marin dans les coupes du cap Andavaka, à 2 km au Sud-Est de Tsivaha. Dans ces coupes, visibles dans la falaise marine actuelle et sur l'estran, les dépôts marins anciens (sables de plage, et poudingues bourrés de fossiles) sont recouverts par des grès à stratification entrecroisée qui correspondent à une dune littorale dont la mise en place est contemporaine du maximum marin karimbolien, ou légèrement postérieure à ce maximum.

*Le récif corallien émergé de la basse Menarandra* (fig. 25)

Des massifs de corail en place affleurent jusqu'à l'altitude de 1 m environ au-dessus du niveau des plus hautes mers actuelles sur la rive occidentale de la lagune Tambohofotsy, étendue d'eau saumâtre qui se reforme à chaque saison sèche à l'embouchure de la Menarandra. Les massifs de corail mort, dont certains dépassent 50 centimètres de hauteur sur 1 mètre de largeur, sont visibles sur une centaine de mètres de largeur. Entre les têtes de corail en place, de nombreux débris coralliens grossiers sont cimentés en une brèche corallienne.

La brèche corallienne à débris roulés de corail se suit en affleurement jusqu'à 200 mètres environ vers le Nord et en arrière de la partie anciennement vivante du récif. Au-delà elle disparaît et laisse la place à un grès fin constitué par un sable corallien très fin à liant argileux bleuté. Si l'on suppose qu'à l'époque de la construction du récif ancien le marnage était le même qu'actuellement, le niveau marin aurait été alors de 3 à 4 mètres supérieur au niveau actuel de la mer. On sait en effet que le corail vivant ne croit guère au delà de 50 à 80 centimètres

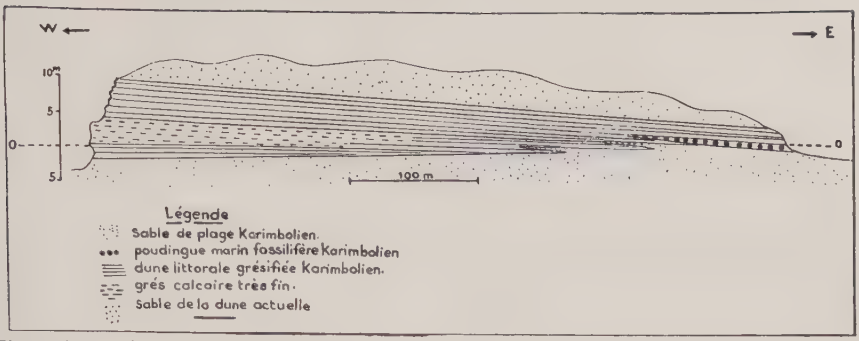



Fig. 24. — Coupe schématique Est-Ouest à travers le Cap Andavaka, en suivant les affleurements de la falaise marine actuelle. Le zéro est celui des plus hautes mers actuelles.

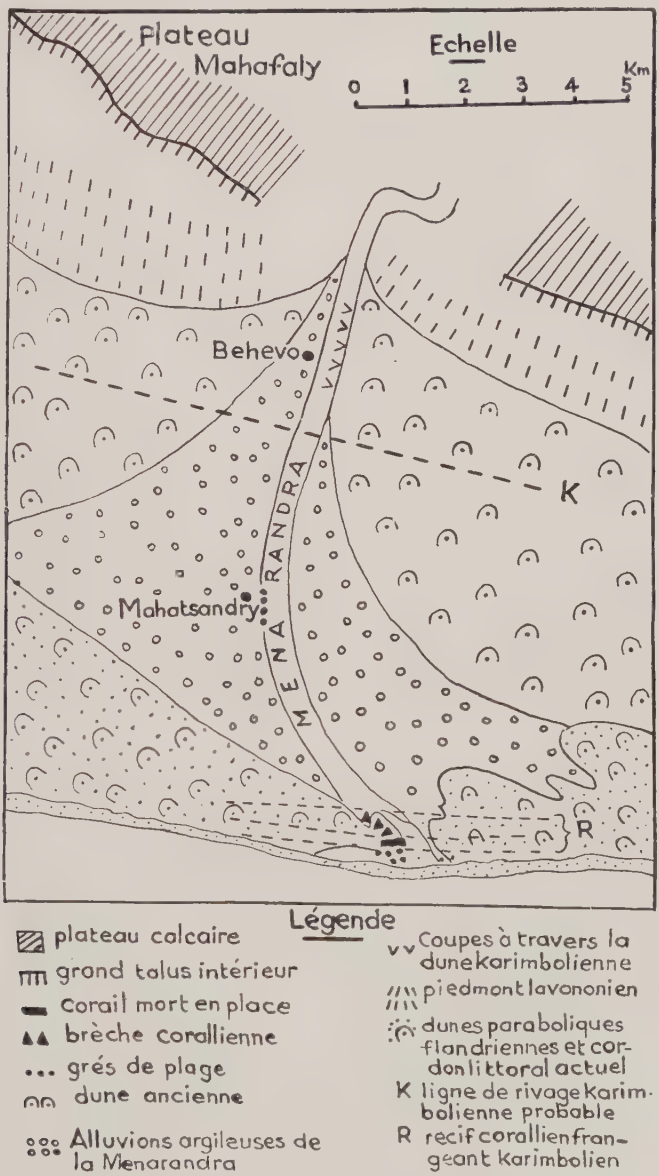



Fig. 25. — Carte des affleurements quaternaires à l'embouchure de la Menarandra.

au-dessus du niveau des plus basses mers dans les régions ayant un marnage de 3 ou 4 mètres, comme c'est le cas ici.

Nous interprétons ce récif corallien ancien comme étant contemporain du maximum karimbolien. S'il n'a pas été recouvert par les épandages lavanoniens cela tient à l'éloignement du grand talus intérieur, qui se trouve à plus de 10 kilomètres du récif ancien. Les grès argileux bleutés correspondent à la sédimentation dans l'ancien chenal d'embarcation. A 5 km à l'intérieur des terres, des dépôts de plage à débris coralliens roulés, qui affleurent dans le fond du lit de la Menarandra près de la station agricole de Mahatsandry, à 4 mètres environ au-dessus du niveau des plus hautes mers actuelles, marquent l'emplacement de l'ancienne ligne de rivage interne.

Le tableau suivant résume les principaux caractères de la sédimentation au cours de l'Aepyornien dans la région littorale karimbola tels qu'ils résultent de l'examen et de l'interprétation des coupes qui viennent d'être décrites. De nombreux points restent obscurs, et ce tableau devra être complété et précisé par des recherches ultérieures.

### Le problème des déformations tectoniques

L'existence d'une faille à regard occidental à Lavanono est établie par l'examen de la structure et par celui de la géomorphologie (voir cartes générales). Cette faille, de direction S.S.O. — N.N.E. forme la limite occidentale de l'affleurement du cristallin et du basalte. Au lieu dit Ambatomainty on observe sur l'estran, sur une longueur d'une cinquantaine de mètres, un filon basaltique orienté sensiblement selon cette même direction ; le basalte est fragmenté en surface mais les blocs restent jointifs. Cette cassure, par laquelle s'est fait au moins en partie l'épanchement de la coulée, est sur l'emplacement présumé de la faille.

La cassure et le soulèvement du compartiment oriental ont déterminé un redan très net dans le tracé de la ligne de rivage à Lavanono. Le petit talus d'une quinzaine de mètres de commandement et à regard occidental, qui s'allonge entre le lieu dit Manahy et le village de Vany, sur le plateau intérieur, se trouve exactement dans le prolongement supposé de la faille et a la même direction qu'elle. Nous l'interprétons comme un abrupt de faille à peine retouché par l'érosion, résultant du jeu relatif des deux compartiments dans l'Aepyornien ancien. La faille devrait normalement être visible dans l'abrupt du grand talus intérieur au lieu dit Manahy ; malheureusement l'existence, à l'endroit où devrait passer cette faille, de nombreux éboulis, empêche d'observer le décalage des assises gréso-calcaires.

| Climat | Érosion et sédimentation continentales | Dunes | | Littoraux | Divisions chronologiques |
|---|---|---|---|---|---|
| Climat chaud et sec | Attaque du piémont lavanonien | Dune récente et actuelle (dune de transgression) | | Niveau marin actuel | Période actuelle |
| Plus humide que le climat actuel | Formation du piémont lavanonien (Pluvial post-karimbolien) | | | Transgression flandrienne | Aepyornien supérieur |
| | | Petite dune | Dune de régression | Régression préflandrienne | |
| | | | Dune contemporaine du maximum marin | Niveau de + 3 m | Aepyornien moyen |
| Climat chaud et sec | | | Dune de transgression | Transgression karimbolienne | |
| Plus humide que le climat actuel | Dépôts de ruissellement du Pluvial prékarimbolien | | | | |
| ? | Plusieurs périodes de nivellement des dunes | Grande dune | Plusieurs périodes d'édification de dunes | ? | Aepyornien ancien |

Il semble que nous soyons en présence d'une faille ayant rejoué à une période relativement récente (15 m environ de rejet depuis le dépôt de l'Aepyornien ancien). Cela s'accorderait bien avec l'attribution éventuelle d'un âge néogène ou quaternaire aux basaltes de Lavanono.

La limite des affleurements cristallins est aussi tranchée et brutale à Ankazomanitse qu'aux environs de Lavanono, mais ici aucun argument supplémentaire d'ordre structural ou géomorphologique ne permet d'affirmer l'existence d'une faille. Une telle faille existe peut-être, mais il ne semble pas qu'elle ait rejoué à une époque récente ; les assises Aepyorniennes du grand talus intérieur ne montrent nulle part de traces de cassure.

L'interprétation la plus simple des affleurements du cristallin aux environs de Lavanono est celle qui suppose l'existence d'un horst limité par deux failles de direction S.S.O. Mais on ne peut exclure totalement l'hypothèse d'un bloc monoclinal, à faille occidentale et de regard occidental, s'abaissant en pente douce vers l'Est. L'abaissement général vers l'Est des assises éocènes de la base du cap Sainte-Marie s'accorderait bien avec cette dernière hypothèse.

Un redan semblable à celui de Lavanono existe au cap Andavaka dans le tracé de la ligne de rivage actuelle, mais en ce dernier point aucune observation ne permet de mettre en évidence l'existence d'une faille semblable celle de Lavanono. Le redan du cap Andavaka est plus probablement en relation avec le sens général de la sédimentation dunaire, qui, le long de cette côte, est déterminée par un vent dominant sensiblement parallèle en direction au tracé général de la ligne de rivage.

D'autres observations concernent les déformations des assises marines tertiaires. En beaucoup d'endroits ces assises présentent de forts pendages locaux et des gondolements passant parfois à de petites failles. Sur le dernier coude de la Menarandra, au débouché de cette rivière sur la plaine côtière, elles ont localement des pendages qui atteignent 40 degrés. Les bancs sont dénivelés par de petites failles (fig. 26). Dans le cours inférieur de la rivière d'Ampainaoka, on observe des gondolements qui, à notre avis ne peuvent s'expliquer par une simple plication due à la pression des horizons gréseux supérieurs (fig. 27). Au lieu dit Betofoka, des gondolements semblables se suivent sur 200 m, créant localement des pendages dépassant 30 degrés (fig. 28). L'hypothèse d'une grande faille parallèle à la direction générale du rivage et déterminant le rebord Sud-Ouest du plateau karimbola, — semblable à la faille qui a été mise en évidence beaucoup plus au Nord grâce à des sondages dans la plaine côtière de Tuléar — ne peut s'appuyer ici sur aucune preuve sérieuse. Les petites cassures observées dans les calcaires marins tertiaires au dernier coude de la Menarandra (fig. 26) ne sont

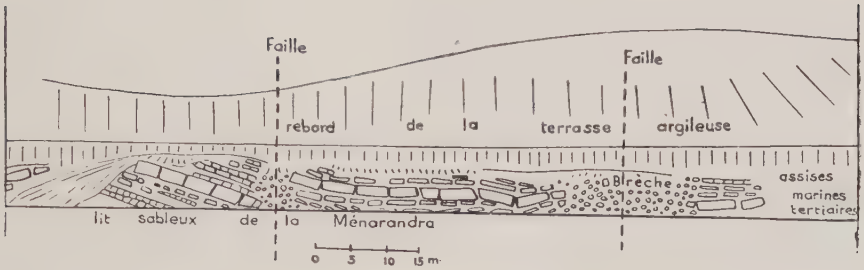



Fig. 26. — Déformations des assises marines tertiaires sur la rive droite de la Menarandra à 4 km au Nord-Est de Tananimarokamby.

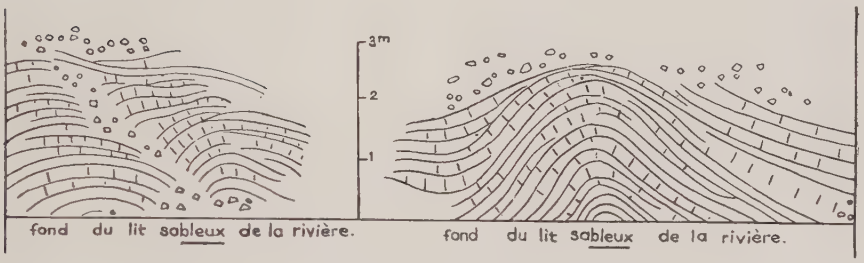



Fig. 27. — Exemples de déformations de détail de la partie supérieure des assises marines tertiaires, visibles dans l'entaille naturelle de la rivière d'Ampainaoka (Cap Sainte Marie).

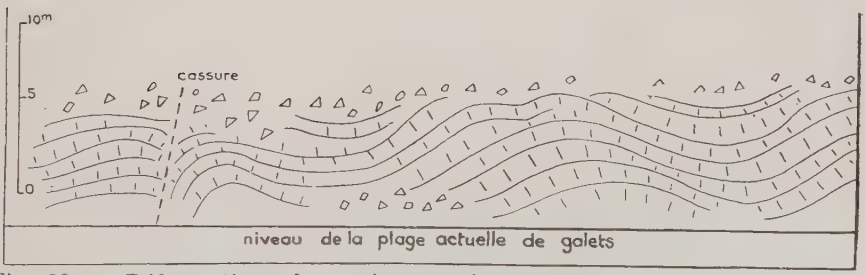



Fig. 28. — Déformations des assises marines tertiaires au lieu dit Betofoka, près de l'extrémité du Cap Sainte Marie.

pas un indice certain de l'existence d'une bordure côtière du type faillé. Il n'est pas impossible que la bordure côtière et le grand talus intérieur soient déterminés à l'origine par une ou plusieurs failles en escalier ou par une flexure allongée suivant la direction générale de la côte ; mais cela demanderait à être établi par des sondages. Ce que l'on connaît jusqu'à présent des affleurements superficiels est plutôt défavorable à une telle interprétation. Le véritable rebord du continent ne coïncide d'ailleurs pas géologiquement avec le tracé du littoral karimbolien ou du littoral actuel. La carte des fonds sous-marins montre qu'il faut le chercher jusqu'au grand talus sous-marin qui limite vers le Sud-Ouest le banc de l'Etoile. Il est fort probable que ce talus sous-marin coïncide avec un accident tectonique fondamental marquant le rebord du continent.

Nous n'avons trouvé aucune trace de déformation des terrains postérieurement à l'Aepyornien ancien. L'altitude maxima des plages soulevées karimboliennes, toujours voisine de + 3 m, est constante non seulement sur le littoral karimbola, mais aussi sur le littoral tatsima à l'Est de l'embouchure du Mandrare, ainsi que sur le littoral mahafaly — où nous connaissons de nombreuses coupes montrant des dépôts de plage semblables à ceux que nous décrivons aux environs du cap Sainte-Marie, et situés à la même altitude (Battistini, $1957_b$). La ligne de rivage du maximum marin karimbolien est sans doute trop récente pour avoir eu le temps de subir des déformations appréciables.

## II. — LES FORMES ANCIENNES

Dans ce chapitre nous essaierons de reconstituer les principaux caractères des topographies anciennes façonnées, puis fossilisées ou en partie détruites au cours de l'histoire géologique. Cet essai est utile pour la compréhension des formes actuelles souvent en partie héritières des formes anciennes. De plus de vastes fragments des topographies du néogène final où de l'Aepyornien ancien ont été conservés sans modifications notables dans le paysage morphologique actuel, recouverts seulement sous une mince couverture de sables roux.

### 1° Le glacis néogène

La répartition des dépôts bariolés surtout argileux et siliceux du néogène indiquent qu'à un moment ayant immédiatement précédé la période aepyornienne un vaste glacis détritique s'étendait sur la plus grande partie de l'Androy. La nature et la disposition des sédiments montrent qu'il s'agissait d'une « bahada » en pente douce vers le Sud, zone d'épandage en avant des pédiments du Nord de l'Androy. De la

surface de cette bahada il ne demeure plus, dans la région d'Ampanihy, que des buttes témoins tabulaires disséquées par l'érosion. D'autres parties au contraire ont été conservées presque intactes sur de grandes surfaces. Ainsi le grand glacis qui s'étend au Nord de Beloha entre les cours moyens de la Menarandra et de la Manambovo correspond sensiblement à la surface à peine retouchée et fossilisée sous une péllicule de sables roux de la bahada néogène.

Les dépôts néogènes affleurent en contrebas et souvent à faible distance du pied de la cuesta des calcaires marins tertiaires dans la région d'Evazy et d'Ansanira au Nord de la Menarandra ; leur position prouve que la cuesta est plus ancienne et n'a que peu reculé depuis leur mise en place. Le néogène continental affleure aussi à 1 km à l'Est d'Ampotaka, à l'intérieur de l'entonnoir de percée conséquente de la Menarandra, et à Manombo-Antanimema, en contrebas des reliefs de calcaire marin tertiaire de l'Ankilimanahetsaky et du Saronandry. Il existait donc déjà une topographie bien différenciée dans les assises des calcaires marins tertiaires au moment de l'avancée vers le Sud de la nappe d'épandage néogène. La base des reliefs calcaires a été progressivement et partiellement fossilisée au fur et à mesure de l'extension du glacis alluvial.

L'Ambohitsariary et le Vohibantaza, terminaison orientale de la cuesta des calcaires marins tertiaires, ont été contournés vers l'Est par la nappe d'épandage dont on retrouve les dépôts en affleurement le long du grand talus de Tsivaha et de Lavanono. L'absence de témoins des dépôts continentaux néogènes immédiatement à l'Est du môle cristallin de Lavanono s'explique soit par une érosion pré-Aepyornienne, soit par l'obstacle qu'aurait constitué à cette époque le relief du môle à l'extension vers l'Est de la nappe détritique.

Par l'étude de l'altitude des lambeaux encore conservés de la surface du glacis on peut essayer de mesurer la pente générale de cet élément de relief. Les pentes que l'on mesure actuellement ne sont pas obligatoirement originelles : il a pu y avoir des déformations puisqu'il existe une faille aepyonienne à Lavanono, donc postérieure à la phase finale de la mise en place de la bahada. La reconstitution de l'ancienne topographie néogène ne met cependant pas en évidence de déformations notables, et les pentes que l'on mesure sont du même ordre que celles des bahadas actuelles connues.

Au Nord de Beloha le glacis néogène descend en pente douce depuis la région de Beadala vers le Sud. Sa pente est extrêmement régulière (fig. 29) et légèrement supérieure à 3 pour 1.000 sur les 25 km qui séparent Beadala — village situé au Nord à la cote 250 — de Beloha au Sud — à la cote 150 (fig. 29).

Au Sud de Beloha, le glacis plonge sous les formations dunaires de l'Aepyornien ancien, qui constituent un bourrelet de 25 à 30 km de largeur entre Beloha et le littoral.

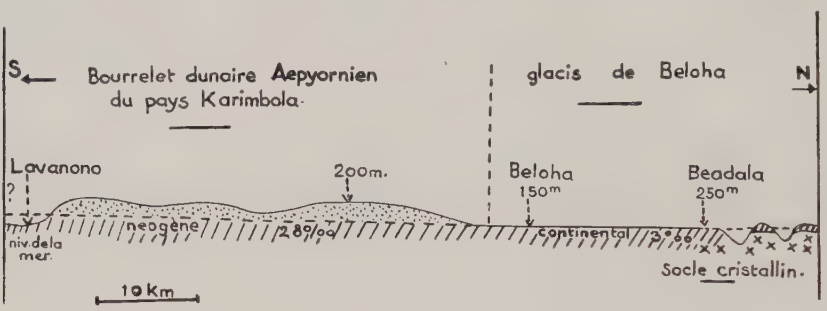



Fig. 29. — Coupe schématique Nord-Sud à travers le pays Karimbola, entre Lavanono et Beadala.

On retrouve la surface de sa continuation méridionale entre 70 et 90 m d'altitude dans les coupes du grand talus intérieur de Tsivaha et de Lavanono, matérialisée par le contact sensiblement horizontal entre les formations sommitales du Néogène et la base des grès calcaires de l'Aepyornien ancien. La pente moyenne du glacis dans cette dernière section serait voisine de 2,8 pour 1.000 entre Beloha et Tsivaha, soit légèrement plus faible que dans la partie située plus en amont.

On ignore la position du littoral à la fin du cycle de sédimentation néogène, lorsque le glacis général pré-aepyornien avait son développement maximum. Etant donnée l'altitude moyenne de 80 m de la surface supérieure du remblaiement continental néogène à Tsivaha, et la grande épaisseur de ces dépôts le long du littoral, on peut supposer que la bahada néogène se prolongeait jadis vers l'aval jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres au Sud de la ligne de rivage actuelle et au moins jusqu'au grand accident sous-marin qui constitue le rebord du plateau continental. L'ablation de sa partie inférieure est en majeure partie l'œuvre de l'érosion marine quaternaire.

### 2° Le problème des grands ensembles dunaires anciens et des dépressions fermées du plateau Karimbola

L'ensemble du plateau Karimbola se présente au point de vue topographique comme un bourrelet de 35 km de largeur entre le couloir de Beloha et le littoral. Sa topographie correspond en général à la surface terminale de plusieurs ensembles dunaires successivement mis en place à l'Aepyornien ancien et moyen, et plus ou moins oblitérés par l'érosion subaérienne selon leur ancienneté.

On distingue au Nord un premier grand ensemble dunaire ancien très rubéfié d'orientation E.SE-W.NW. Cet ensemble, qui continue vers l'Ouest le bourrelet dunaire ancien qui verrouille à la hauteur d'Ambovombé la dépression d'Ampamolora, est large d'une quinzaine de kilomètres en moyenne ; il se suit en pays Karimbola sur une soixantaine de kilomètres depuis l'embouchure de la rivière Manambovo jusqu'à la partie orientale de la dépression fermée de Belolotsy. La topographie dunaire primitive n'est plus reconnaissable, et seule l'orientation générale de l'ensemble peut, peut-être, donner une indication approximative sur le sens du vent dominant ayant accompagné sa mise en place.

Séparé de ce dernier par un large couloir occupé par la dépression fermée de Besakoa, un autre ensemble dunaire moins rubéfié, caractérisé par une topographie dunaire plus fraîche quoique cependant oblitérée par l'érosion subaérienne, est reconnaissable sur une largeur de 10 kilomètres environ en bordure du littoral entre le cap Sainte-Marie et l'embouchure de la rivière Manambovo. Si l'on en juge par l'orientation des crêtes et sillons dunaires constituant le relief de ce second ensemble, le vent dominant à l'origine de sa formation soufflait de l'E.SE, et était donc peu différent en direction du vent dominant actuel.

Ces deux ensembles dunaires se surimposent à un ensemble dunaire et lacustre encore plus dégradé qui a directement recouvert la baha-da néogène, et dont on retrouve les restes nivelés et rubéfiés en surface au Nord-Ouest du cap Sainte-Marie dans le grand talus en arrière de Lavanono et de Betindria.

Dans tous les cas, les sables roux qui tapissent en surface ces différents ensembles correspondent généralement à un niveau pédologique formé in situ par altération et rubéfaction des grès calcaires sous-jacents. On en a la preuve dans le rapport étroit entre le degré de rubéfaction et l'ancienneté des ensembles dunaires, ancienneté que l'on peut en partie déduire de la dégradation des formes. Une étude granulométrique et morphoscopique sommaire que nous avons effectuée confirme généralement une telle interprétation.

La dissymétrie du cap Sainte-Marie est en liaison avec les particularités de cette topographie dunaire ancienne. Le village de Bezavoa se trouve placé dans une dépression en forme de sillon très évasé (cote 137) entre un bourrelet dunaire septentrional (cote 200 entre Mionjona et Beborodoky) et un bourrelet dunaire méridional en partie détruit sur sa face sud et qui constitue l'extrémité du cap (cote 199). Les rivières d'Ampainaoka et de Bezavoa reculent leur tête et entaillent largement le fond de ce sillon à partir du rivage occidental du cap.

Allongée dans le sens E.SE-W.NW, qui est celui des ensembles dunaires fondamentaux, la dépression fermée de Besakoa a 40 km de longueur et une dizaine de kilomètres de largeur. Son fond très plat,

à la cote 116 à Besakoa, résulte d'un ennoyage par des débris fins provenant du démantèlement des ensembles dunaires anciens voisins.

Les dépressions fermées de Bèreny et d'Andraseky ont vraisemblablement, comme la précédente, si l'on en juge par leur forme et leur orientation générale, une origine première dunaire. Les dépressions fermées de la partie occidentale du pays karimbola (dépressions d'Ankatrafay, de Belolotsy, de Tsiriboa, et de Tsimala) n'ont pas la forme allongée qui caractérise souvent les dépressions fermées d'origine dunaire. L'hypothèse d'une formation par dissolution dans les grès calcaires aepyorniens peut être invoquée, surtout si les grès calcaires recouvrent les calcaires marins tertiaires, ce qui ne pourrait être prouvé que par des sondages (1).

Enfin, un grand nombre de dépressions fermées de petite taille existent dans l'ensemble dunaire situé en bordure de mer entre le cap Sainte Marie et la rivière Manambovo, ensemble dunaire plus récent et moins défiguré par l'érosion subaérienne. Ces dépressions fermées, allongées en sillons étroits entre deux crêtes dunaires, n'apparaissent pas sur la carte au 1/100.000e, mais sont facilement déterminables sur le terrain ainsi que sur les photographies aériennes.

### 3° La ligne de rivage karimbolienne

De nombreux travaux prouvent la généralité dans de nombreuses régions du monde d'un stationnement marin à quelques mètres au-dessus du niveau actuel de la mer. Des bibliographies concernant ce bas niveau, dans les différentes régions où il a été observé, existent dans les ouvrages de M. Gigout (Etudes géologiques sur la Meseta marocaine occidentale, 1951) et de A. Guilcher et F. Joly (Recherches sur la morphologie de la côte atlantique du Maroc, 1954). On trouve un stationnement marin ancien entre 1 et 3 mètres au-dessus du niveau des plus hautes mers actuelles en Bretagne et en Normandie, où il a été décrit sous le nom de Bas Monastirien (A. Guilcher, 1948) et de Normannien (L. Dangeard 1936) ainsi que dans le Nord de la France (G. Dubois, 1924 et A. Briquet, 1930).

Dans les Iles Britanniques, on a décrit un stationnement marin à la même altitude dans le Cornwall, le Devon et le Pays de Galles méridional (J. A. Steers, 1948 ; W. B. Wright et H. B. Muff, 1904), ainsi qu'en Irlande du Sud (S. Martin, 1955). Une plage soulevée à ce même niveau a été signalée récemment par A. Guilcher sur le littoral des Asturies à la Franca (Guilcher, 1955). Sur la côte Atlantique du Maroc,

(1) J. Archambault (1956) émet l'hypothèse d'une dissolution souterraine pour expliquer certaines dépressions fermées de la région d'Ambondro, dans le Sud de l'Androy.

## LEGENDES DES PLANCHES X et XI

### Planche X

Montage de photographies aériennes du Service géographique de Madagascar. *En haut*, le plateau karimbola. Traversant obliquement la photographie, le grand talus et la plaine côtière de Lavanono. *Dans le coin* en bas et à gauche, la ligne de rivage et le redan de Lavanono. La faille de Lavanono traverse entièrement le centre de la photographie de haut en bas.

*Photographies aériennes du Service Géographique de Madagascar. Echelle environ 1/60.000e.*

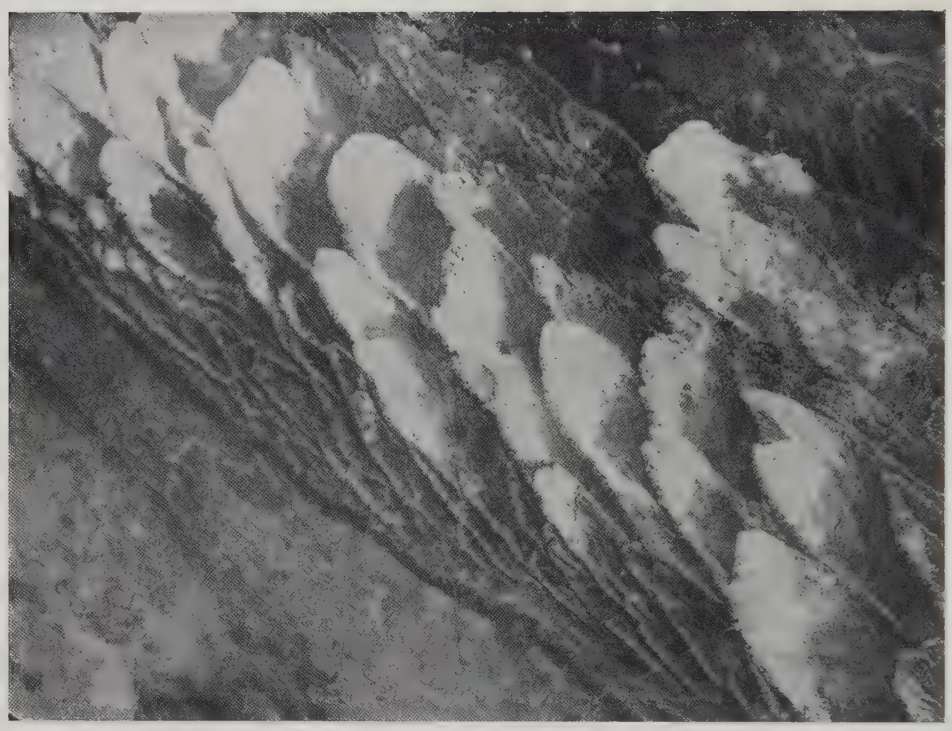
### Planche XI

A. — Dunes paraboliques actuelles du grand ensemble du Dogary.

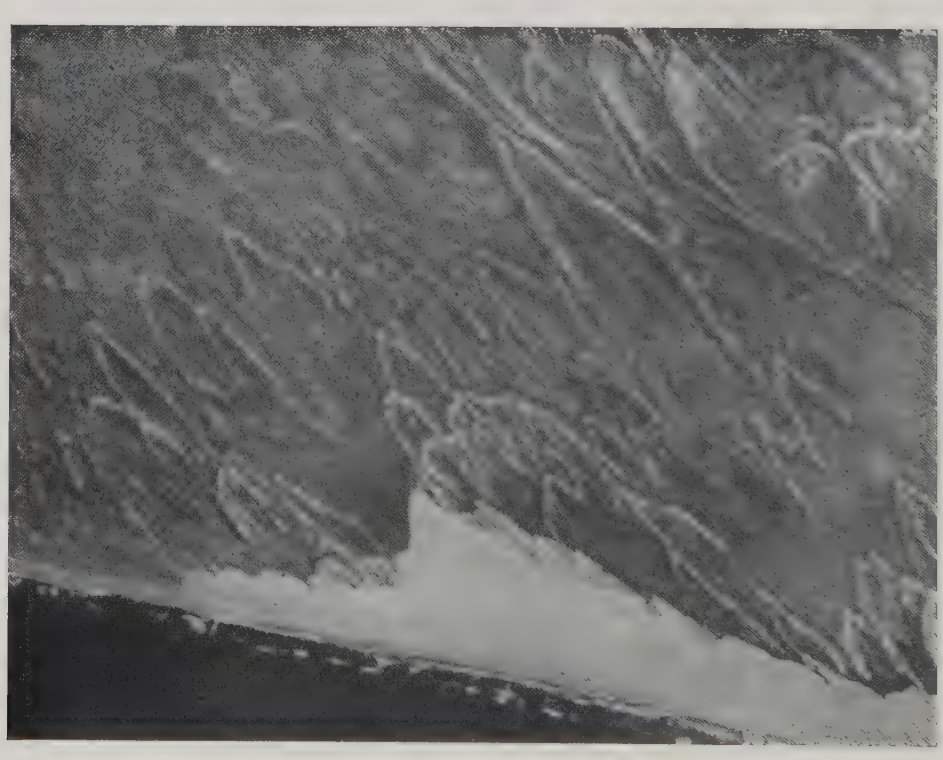
B. — Dunes littorales vivantes en traînées (teinte très claire) recouvrant à l'intérieur des terres des dunes flandriennes fixées en « pointe de sagaie », entre Tsivaha et l'embouchure de la Menarandra. Le vent dominant fait un angle de 40 degrés environ avec le tracé de la ligne de rivage.

*Photographies aériennes du Service Géographique de Madagascar. Echelle environ 1/60.000e.*

Oeryne Geographe de Ladoga.



A



B

un stationnement marin est décrit à une altitude légèrement supérieure au Karimbolien de Madagascar (5 à 8 mètres) par M. GIGOUT (1951) et A GUILCHER et F. JOLY (1954). Sur le littoral africain du Mozambique enfin, L. BARRADAS (1947), signale un bas niveau marin qu'il serait intéressant de comparer avec le Karimbolien de l'extrême Sud de Madagascar.

La figure 30 indique le tracé du littoral lors du maximum marin karimbolien pour les sections de côte où cette reconstitution est possible. En général, la ligne de rivage ancienne se trouve en arrière de la ligne de rivage actuelle, et la falaise marine ancienne est fossilisée sous les dépôts dunaires ou les épandages détritiques post-karimboliens.

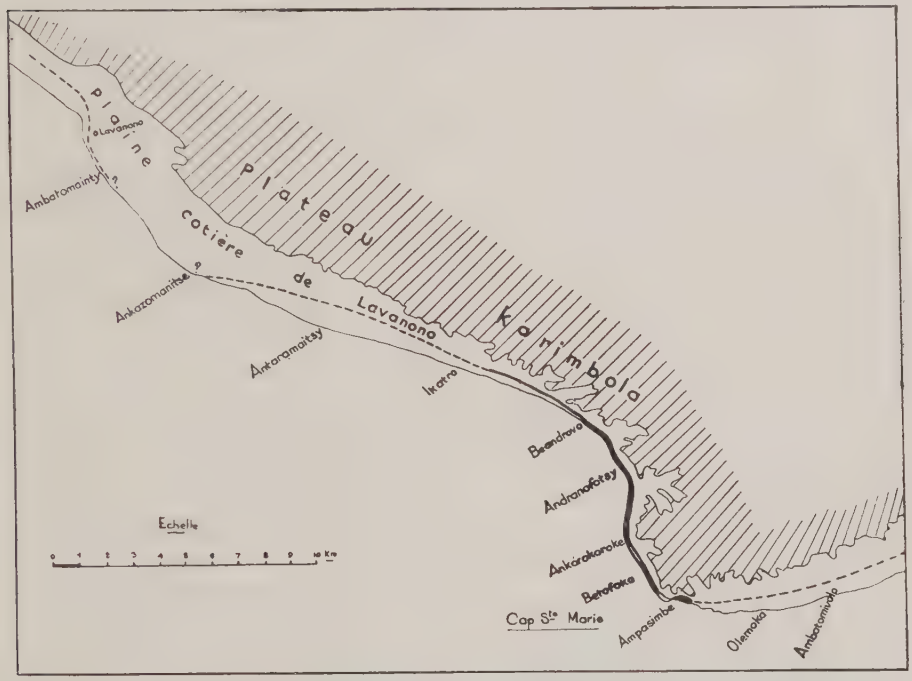



Fig. 30. — L'ancienne ligne de rivage du maximum marin karimbolien. *En grisé :* plateau Karimbola. *En trait plein :* falaise morte karimbolienne enfouie sous les dépôts du Lavanonien, observable seulement dans les principales entailles fluviatiles. *En trait plein très épais :* Sections de la falaise morte karimbolienne exhumées par la transgression flandrienne. *En tireté :* tracé probable de la ligne de rivage du maximum karimbolien.

Sur la face occidentale du Cap Sainte-Marie, les deux lignes de rivage tendent à coïncider. Les coupes décrites dans le chapitre consacré à la structure montrent en plusieurs endroits la falaise marine karimbolienne sur le point d'être exhumée des dépôts qui la fossilisent, ou déjà recoupée par l'érosion marine actuelle. A l'extrémité du cap Sainte-Marie,

la falaise marine fossile a reculé de plusieurs mètres depuis son exhumation, ainsi que le prouve l'existence d'un lambeau dunaire karimbolien perché à 25 mètres d'altitude, seul témoin des accumulations karimboliennes qui, avant d'être enlevées par l'érosion marine subactuelle, occupaient la base de la falaise ancienne.

Ce que l'on retrouve des dépôts et des formes anciens permet d'établir qu'au moment du maximum marin karimbolien un rivage particulièrement accore à très hautes falaises existait au cap Sainte-Marie et dans la partie orientale de l'actuelle plaine de Lavanono. Dans la plaine de Tsivaha et de la basse Menarandra le littoral karimbolien était probablement au contraire peu élevé, et précédé d'un récif frangeant séparé de la terre ferme par un large chenal d'embarcation. A l'Ouest de l'embouchure de la Menarandra le grand talus intérieur façonné dans le tertiaire marin se trouvait sensiblement en arrière de la ligne de rivage karimbolienne, et séparé de cette dernière par de grandes accumulations dunaires aujourd'hui grésifiées.

Dans les pays tempérés il arrive souvent que les formes d'érosion marine anciennes, taillées dans les roches résistantes du socle cristallin, soient exhumées des dépôts meubles qui les fossilisaient et à peine retouchées par l'érosion marine actuelle. Ainsi par exemple la plateforme d'abrasion marine actuelle correspond-t-elle en beaucoup d'endroits du littoral breton à la plateforme monastirienne exhumée et à peine modifiée (Guilcher, 1948). Sur le littoral karimbola, ce processus d'exhumation et de conservation dans la morphologie littorale actuelle de formes anciennes est rendu impossible par la consolidation de la quasi totalité des dépôts de couverture. Cette consolidation atténue ou supprime même complètement la différence de dureté entre les matériaux dans lesquels sont façonnées les formes d'érosion anciennes — généralement ici le calcaire marin tertiaire ou les grès calcaires de l'Aepyornien ancien — et les matériaux marins, dunaires ou détritiques qui les recouvrent. La prédominance des phénomènes de corrosion sur l'érosion mécanique dans l'évolution des estrans calcaires est aussi défavorable à une remise en valeur des formes anciennes. C'est pour ces raisons que la plateforme d'abrasion marine karimbolienne ne joue aucun rôle dans la morphologie des estrans actuels. C'est par un pur hasard que l'on peut observer, comme cela est le cas à Betofoka, la falaise marine ancienne presque complètement dégagée des matériaux grésifiés qui la fossilisaient. Ni cette falaise marine fossile, ni la plateforme d'abrasion marine ancienne ne sont destinées à être remises en valeur et à jouer à nouveau pendant un temps notable le rôle qu'elles jouaient au Karimbolien.

La consolidation climatique rapide des sédiments sableux ou calcaires joue donc un rôle morphologique considérable, non seulement

par les conditions particulières qu'elle offre à l'action érosive de la mer, mais aussi parce qu'elle gêne la résurrection de formes d'érosion anciennes, phénomène si fréquent dans les régions tempérées.

### 4° Le piedmont lavanonien

Cette forme d'accumulation s'est développée surtout aux dépens des grès calcaires de l'Aepyornien ancien qui, sous le climat plus humide que le climat actuel, contemporain de la régression préflandrienne, semblent avoir été particulièrement sensibles à la dégradation par les agents météoriques. Le grès calcaire, pulvérisé en un sable fin jaunâtre, a donné de grandes coulées étalées vers l'aval par le ruissellement. Les blocs anguleux ou les galets, dont les lits alternent avec les horizons purement sableux, sont formés par le démantellement des bancs les plus compacts, généralement plus calcaires et moins siliceux, de la série de l'Aepyornien ancien, ainsi que par des débris de croûtes calcaires ; sur la face occidentale du cap Sainte-Marie, on trouve aussi dans la partie inférieure du piedmont de nombreux blocs ou galets de calcaire marin tertiaire.

Les roches purement calcaires, en particulier les calcaires marins tertiaires, ont, au Lavanonien, beaucoup mieux résisté à l'action des agents de dégradation météorique que les grès calcaires de l'Aepyornien ancien. C'est pour cette raison que l'on ne trouve pas de glacis détritique aussi important que le piedmont de la plaine de Lavanono dans la partie intérieure de la plaine côtière Mahafaly, dont le grand talus interne est, en majeure partie, façonné dans les calcaires marins tertiaires. C'est aussi pour cette raison que, sur la face occidentale du cap Sainte-Marie, le soubassement de calcaire marin tertiaire n'a pas été sérieusement attaqué depuis le maximum marin karimbolien (les dépôts de plage anciens s'appuient aujourd'hui encore à la partie inférieure, entaillée dans le calcaire marin tertiaire, de l'ancienne falaise marine karimbolienne), tandis que la partie supérieure de la grande falaise marine ancienne, constituée par les grès calcaires de l'Aepyornien ancien, a reculé, au Lavanonien, de plusieurs centaines de mètres, fournissant l'essentiel des matériaux du piedmont (fig. 31).

Sur la face occidentale du cap Sainte-Marie, seule demeure la partie tout à fait interne du piedmont, préservée dans les indentations des vallées qui érodent le rebord du plateau (fig. 32), ainsi qu'une frange étroite en forme de terrasse en contrebas de la grande falaise de grès calcaires de l'Aepyornien ancien. La partie aval du piedmont a été enlevée par la transgression marine flandrienne. L'érosion marine actuelle fait reculer une grande falaise haute de 15 à 30 mètres taillée dans les dépôts du Lavanonien.

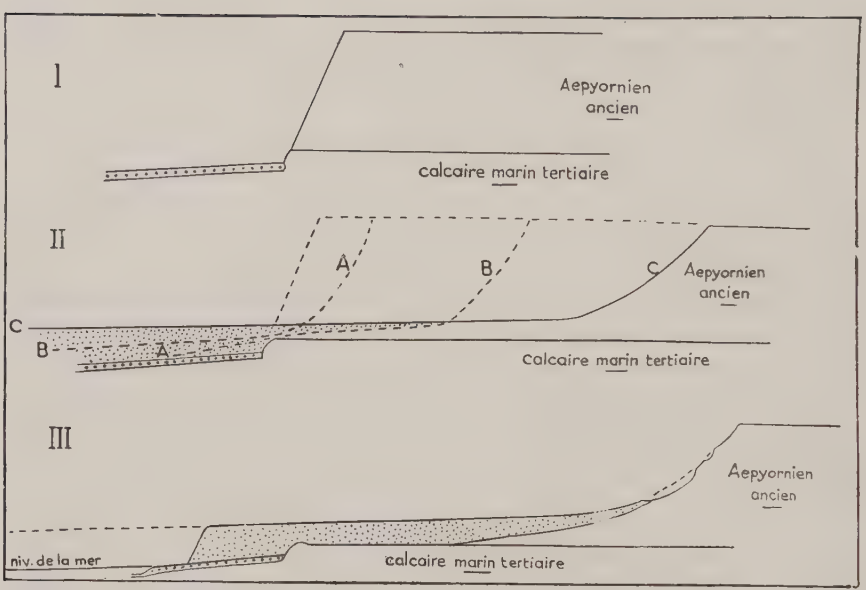



Fig. 31. — Trois stades de l'évolution de la bordure du plateau Karimbola dans la partie occidentale du Cap Sainte Marie. — I : Au moment du maximum marin karimbolien. — II : Au cours de la régression préflandrienne (A, B, C : stades successifs du recul du grand talus et de la construction du piedmont lavanonien). — III : A l'époque actuelle. Attaque du piedmont lavanonien par la transgression flandrienne, et redressement du profil en travers du grand talus. — *En pointillé épais :* dépôts marins karimboliens. *En pointillé fin :* dépôts lavanoniens de piedmont.

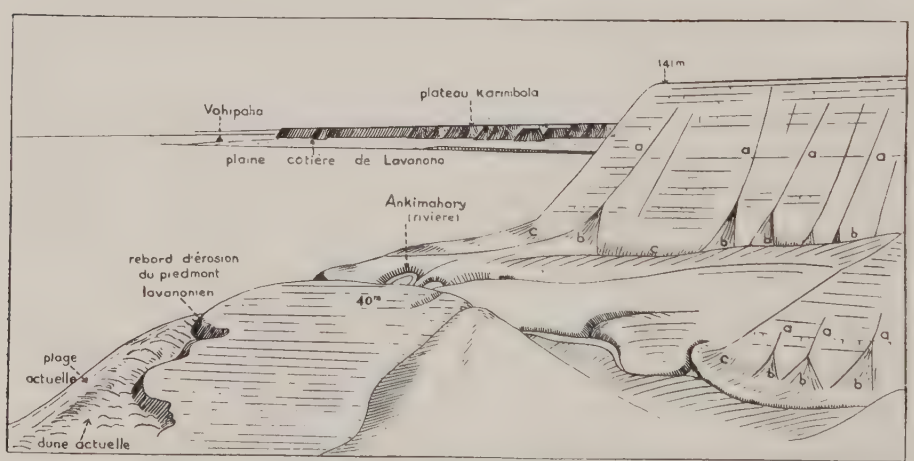



Fig. 32. — La grande falaise gréso-calcaire et le piedmont lavanonien, vus de la cote 191 au Nord de l'Oratoire du Cap Sainte-Marie, vers le Nord-Ouest. — *a :* ravines en pente très forte. — *b :* petits cônes d'éboulis très pentus au débouché des ravines. — *c :* éboulis de bas de pente se raccordant sur les côtés aux cônes, et vers le bas à la partie interne du piedmont.

Près de Lavanono, le piedmont a été conservé sur une largeur de 3 ou 4 kilomètres. Il plonge en bordure de mer sous le cordon dunaire actuel. Seule sa partie tout à fait externe a été grignotée par la mer. Dans la coupe d'Andranivato, en bordure de mer, près du village de Lavanono, l'épaisseur du Lavanonien ne dépasse pas 5 ou 6 mètres. La pente moyenne du glacis de piedmont entre le pied du grand talus intérieur (cote 70 mètres) et la ligne de rivage actuelle (affleurement du Lavanonien à 5 mètres) est de 2,1 pour 100 (65 mètres de dénivellation en 3 km environ).

On peut faire la comparaison des épandages détritiques lavanoniens avec les dépôts de remblaiement continentaux décrit par A. Guilcher et F. Joly (1954) au-dessus de l'horizon marin Ouljien au cap Tafelneh, sur le littoral atlantique du Maroc. Ces dépôts, généralements très anguleux, proviennent, au cap Tafelneh, de la destruction des calcaires jurassiques qui forment un grand ressaut en arrière de la ligne de rivage actuelle, et déterminent en bordure de mer une terrasse construite qui rappelle, à une petite échelle, celle que nous avons étudiée sur la face occidentale du cap Sainte-Marie. A. Guilcher et F. Joly datent du pléistocène supérieur ou de l'holocène la phase principale de la mise en place de ces dépôts.

Au cap Sainte-Marie et dans la plaine de Lavanono, les formations de piedmont sont attaquées par un réseau de ravines. Cette reprise d'érosion est en relation avec la transgression marine flandrienne et l'attaque par la mer du rebord externe du piedmont. Entre les entailles des ravines, le piedmont continue à se former encore actuellement ; au moment des averses, exceptionnelles dans cette région mais parfois très violentes, il y a épandage par sheet flood, sur les parties planes préservées dans les interfluves, des débris sableux en provenance du grand talus. La mise en place de lits de galets ou de blocaille anguleuse ne se fait, par contre, plus actuellement.

## III. — LES FORMES ACTUELLES

### Les entailles d'érosion sub-aériennes : « hobaba » et « haly »

Le piedmont lavanonien est attaqué, à l'Ouest du cap Sainte-Marie, par des entailles fluviatiles récentes en relation avec la transgression marine flandrienne. Les plus importantes sont localisées sur le croquis de localisation (fig. 33) établi d'après les photographies aériennes.

Appelées « hobaba » par les Karimbola, ces entailles fluviatiles, qui sont des oueds très courts, sont caractérisées par des versants abrupts, souvent verticaux, dans les grès-sableux, les poudingues et les brèches du Lavanonien.

Aucun des « hobaba » de la région du cap Sainte-Marie n'a d'écoulement permanent. Il n'y a généralement aucun écoulement pendant toute la durée de la saison sèche. En saison des pluies, il arrive qu'ils coulent pendant quelques heures, exceptionnellement quelques jours, après une série d'averses particulièrement violentes.

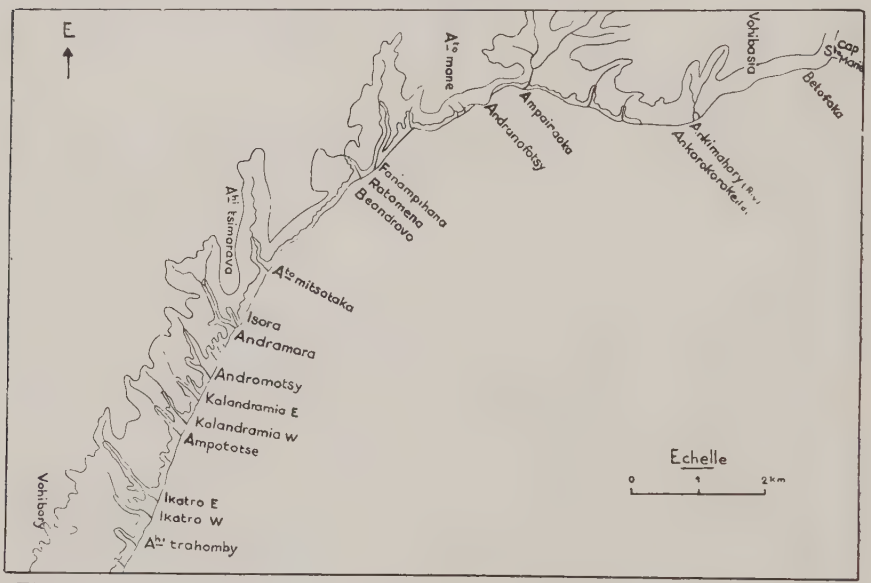



Fig. 33. — Carte toponymique du littoral occidental du Cap Sainte-Marie

Leur tête recule souvent à la manière des « lavaka » décrits sur les hauts-plateaux malgaches (Riquier, 1949). La tête de l'Ikatro-Ouest aurait, d'après plusieurs témoignages concordants, reculé de 50 mètres en 30 ans, soit en moyenne de plus de 1,5 mètre par an. La tête du « hobaba » recule en suivant le fond d'une ondulation à peine sensible de la surface du piedmont, dans laquelle le ruissellement en nappe tend à se concentrer lorsqu'il se produit des averses suffisamment violentes. L'eau qui ruisselle à la surface du piedmont se déverse en cascade au fond du « hobaba » qui recule sa tête rapidement. La partie amont du « hobaba » d'Antaramaitsy est une gorge étroite profonde de 5 à 8 mètres et large de 3 ou 4 mètres, à parois verticales. Vers l'aval, la gorge s'élargit. Son fond devient plat et sableux, mais les versants, hauts de 15 à 20 mètres, restent toujours abrupts, reculant généralement par éboulements de pans verticaux.

La plupart des « hobaba » du littoral occidental du cap Sainte-Marie montrent dans leur profil en long des ruptures de pente brutales qui ne semblent pas toujours correspondre à l'affleurement d'un

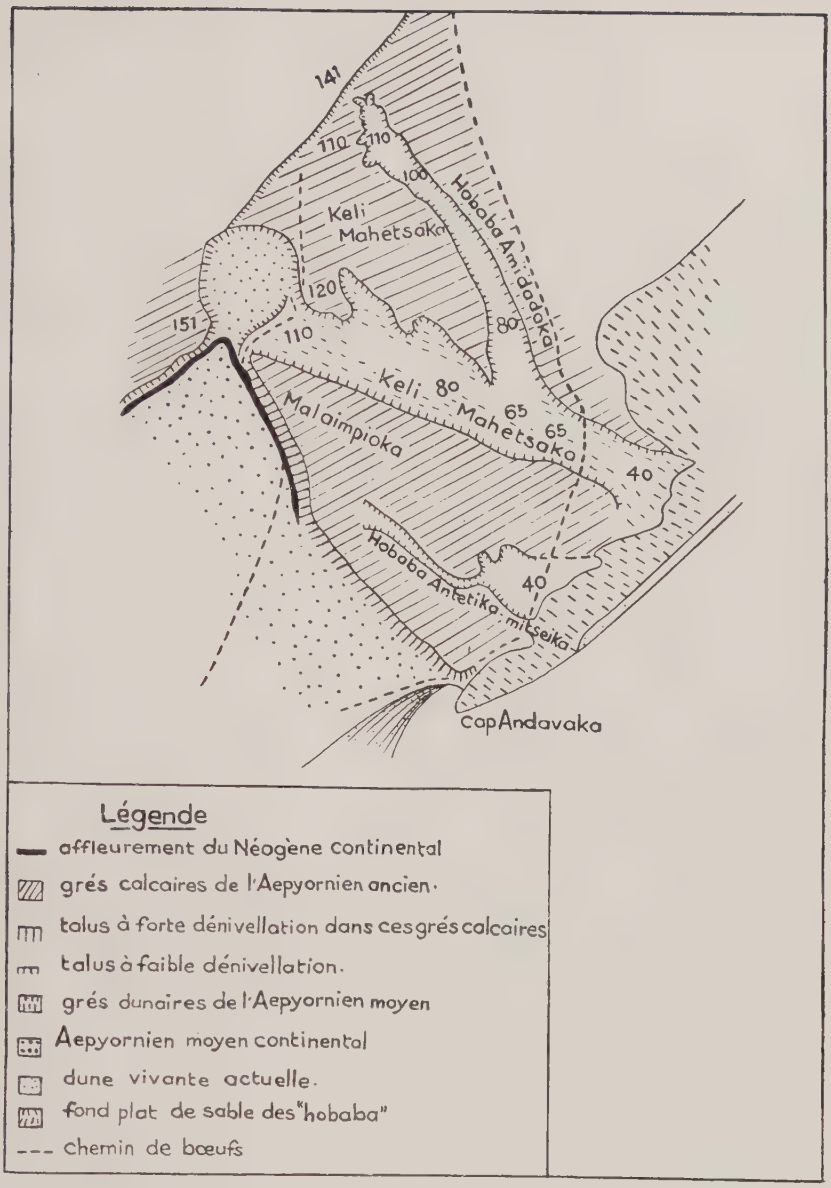



Fig. 34. — Les trois « hobaba » de Malaimpioka.

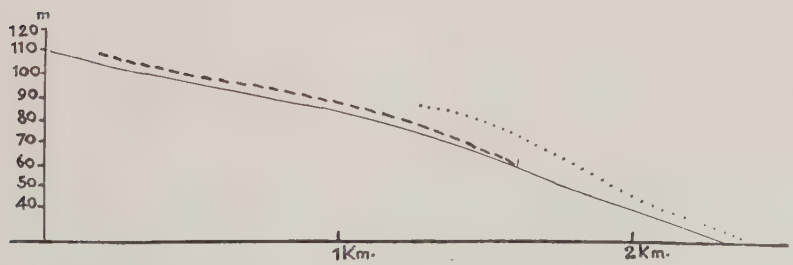



Fig. 35. — Profils en long des « hobaba » de Malaimpioka : En trait plein : hobaba Amidadaka. — *En tireté :* hobaba Keli-Mahetsaka. *En pointillé :* hobaba Antetika-Mitseika.

horizon plus résistant. Ces ruptures de pente, qui créent de véritables cascades lorsque la rivière coule, semblent reculer rapidement en gardant le même profil.

Cependant, l'une au moins de ces ruptures de pente, qui se trouve dans les profils en long de tous les « hobaba » entre l'extrémité du cap Sainte-Marie et l'Ikatro, est due à l'affleurement de la partie supérieure des calcaires marins tertiaires.

Le débouché à la mer de ces entailles fluviatiles se fait toujours au niveau des plus hautes mers. A la partie tout à fait aval du talweg, il existe toujours un ombilic, et une contrepente constituée par le revers du cordon de plage actuel. Il n'arrive qu'exceptionnellement que les eaux du « hobaba » se déversent directement dans la mer, franchissant l'obstacle du cordon de plage. Plus généralement, les eaux s'accumulent dans l'ombilic et rejoignent la mer par infiltration à travers le cordon de plage.

Les « hobaba » proches du cap Andavaka (« Hobaba » Amidadaka, Keli-Mahetsaka et Antetika-Mitseika) entaillent les grès calcaires de l'Aepyornien ancien et sont des formes plus anciennes (fig. 34). Ils existaient lors de la mise en place de la dune karimbolienne. Leur morphologie est un peu différente de celle que nous venons de décrire, mais il s'agit de formes de la même famille. Nous retrouvons les versants abrupts et un fond sableux plat semblable à celui de la section aval des « hobaba » du cap Sainte-Marie. Le fond plat du « hobaba » Keli-Mahetsaka mesure entre 150 et 300 mètres de largeur selon les endroits. Pendant les périodes d'écoulement, extrêmement rares et courtes, il se produit sur ce fond, plutôt qu'un écoulement organisé, une anastomose de multiples filets d'eau passant localement au sheet flood. Entre les périodes d'écoulement, le vent remanie le sable du fond du lit, créant parfois de petites nebkas accrochées aux touffes de végétation.

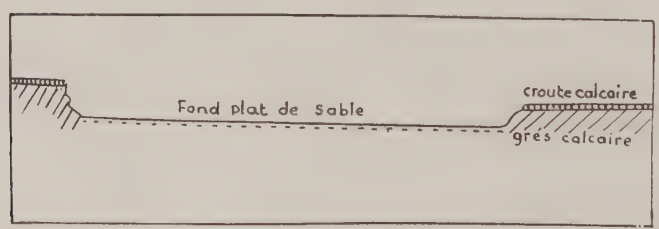



Fig. 36. — Profil en travers de la « hobaba » Mahetsaka, à la cote 80 mètres.

La tête du « hobaba » Amidadaka est un cirque à parois verticales de 10 à 20 mètres dans les grès calcaires de l'Aepyornien ancien.

Le profil en long de ces trois « hobaba » ne montre pas de rupture de pente. Le profil est nettement convexe (fig. 35). Au moment des

périodes d'écoulement, les eaux ne vont pas directement à la mer, mais s'infiltrent à travers la dune karimbolienne et la dune actuelle qui bouchent complètement l'entrée des vallées.

Les « haly » sont des entailles en forme de déchirure des versants du grand talus. Les autochtones les distinguent parfaitement des entailles du type « hobaba ». Au Lavanonien, le profil en travers du grand talus était adouci par un manteau de débris — coulées sableuses et brèches d'éboulis — ultérieurement en partie consolidé et encroûté. La roche en place n'affleurait qu'en de rares endroits, et surtout dans la partie supérieure des versants. Sous le climat actuel, il y a une tendance au redressement du profil en travers des versants aux dépens du manteau de débris de l'époque lavanonienne. Entaillées dans ces dépôts de pente mis en place sous un climat différent du climat actuel, les déchirures des « haly » s'agrandissent par soutirage des dépôts moins consolidés qui se trouvent au-dessous de la carapace de la croûte calcaire superficielle ; cette dernière s'effondre par grands pans. Le plancher du « haly » est constitué par le profil rocheux du versant, en pente généralement de 35 à 40°. La forme générale rappelle celle de certains « lavaka » décrits sur les hauts plateaux. C'est une forme en bouteille renversée avec, à la base, un étroit goulet d'évacuation. Mais les matériaux sont différents de ceux dans lesquels sont généralement entaillés les « lavaka ». Il s'agit de sables et de grès sableux, au lieu d'argiles latéritiques. Le processus d'évolution n'est probablement pas non plus le même. Le plancher du « haly » est en pente plus forte que celui de la plupart des « lavaka » et n'est pas en relation avec l'existence d'une nappe phréatique ; il coïncide avec le profil rocheux du versant.

Les « haly » sont des formes éphémères à évolution rapide. Le long du grand talus en arrière de Tsivaha, on peut en observer un assez grand nombre à différents stades de leur évolution : « haly » vifs à rebords abrupts dont le fond raviné laisse voir les teintes vives et bariolées du néogène continental ; « haly » en voie de fixation, réoccupés par la végétation de buissons épineux ; « haly » morts, dont les formes sont adoucies, les plus anciens se devinant à peine dans le modelé du talus.

L'évolution des « haly » entraîne l'apparition d'une autre famille de formes : écailles triangulaires ou losangiques qui correspondent à des lambeaux résiduels de la croûte calcaire restés accolés au versant entre deux entailles. De beaux exemples d'écailles sont observables à Tsivaha, à Bevarano (fig. 37) et en arrière de la plaine côtière de Lavanono. La figure 38 montre l'un des modes de formation possibles de ces écailles par évolution de deux « haly » contigus.

En plus du redressement du profil du versant, le système d'érosion actuel tend à la remise en valeur des formes structurales qui étaient

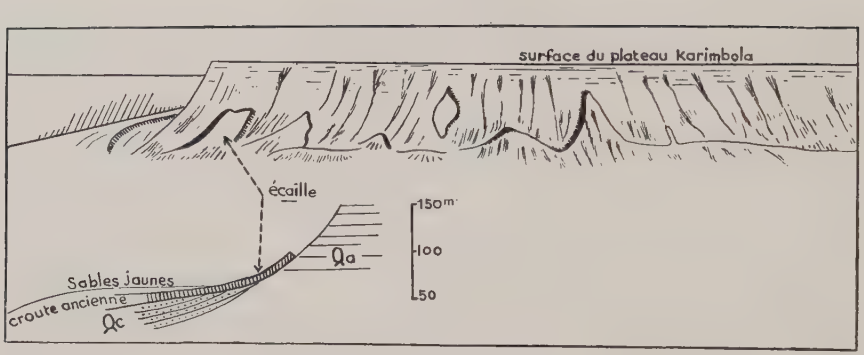



Fig. 37. — Ecailles triangulaires ou losangiques résiduelles, accolées au grand talus dans les grès de l'Aepyornien ancien en voie d'exhumation des dépôts continentaux encroûtés de l'Aepyornien supérieur, à Bevarano.

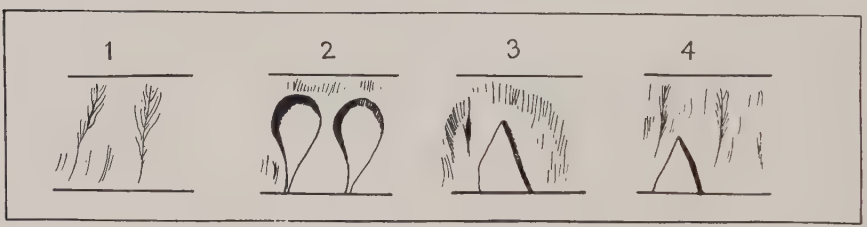



Fig. 38. — Schéma montrant l'un des modes de formation possible des écailles par évolution de deux « haly » contigus.

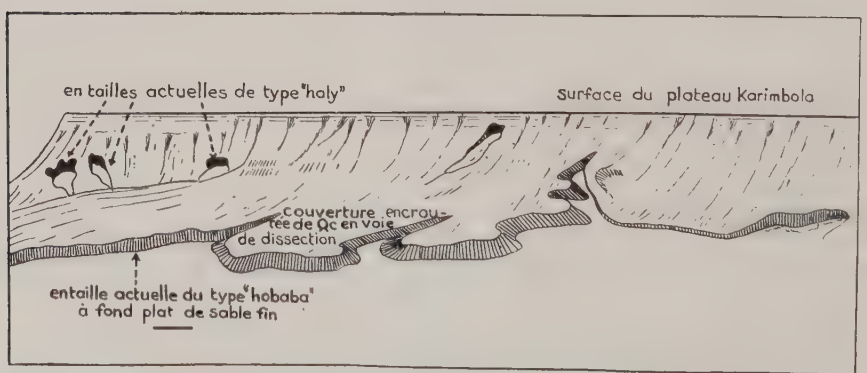



Fig. 39. — Vue vers le Nord d'une partie du grand talus au Nord-Est de Betindria.

oblitérées et empâtées dans le versant lavanonien. Ce phénomène est général dans les régions arides ou subarides ayant connu à un autre moment du quaternaire un climat plus humide. La remise en valeur des formes structurales est particulièrement nette dans le cirque de Maiekandro : un système de replats structuraux correspondant à l'affleurement d'un banc arkosique, d'un banc de calcaire grumeleux, et d'un banc gréso-calcaire compact reposant sur des horizons moins résistants (sables et argiles bariolés), se dégage progressivement dans le profil en travers des versants du cirque au fur et à mesure de l'élimination des dépôts de pente lavanoniens. La figure 13 montre le dégagement d'un replat structural dans des grès siliceux très durs en dessous des grès calcaires de l'Aepyornien ancien dans le grand talus de Tsivaha. Ce replat structural n'existait que très atténué dans le profil du versant lavanonien, profil que l'on peut reconstituer grâce à des lambeaux résiduels de la croûte calcaire qui carapaçonnait la surface du versant fossile.

L'étude des formes de détail des versants est donc pleine d'enseignements. Les changements climatiques à la fin de la période quaternaire ont entraîné des modifications du système d'érosion et, en conséquence, des modifications du profil d'équilibre des versants et du modelé en général. Le système d'érosion actuel est établi depuis trop peu de temps pour que toutes les marques du système d'érosion ancien de l'époque lavanonienne aient disparu du modelé actuel. Les formes des versants ne peuvent pas s'expliquer par l'action d'un seul, mais de deux systèmes d'érosion consécutifs. Le plus ancien est reconnaissable dans les formes relictes que le système d'érosion actuel tend à faire disparaître progressivement.

### Les dunes littorales

L'étude des formes dunaires actuelles ou récentes de l'extrême Sud de Madagascar a été jusqu'à présent négligée. Les reliefs dunaires y constituent cependant en plusieurs endroits des ensembles considérables, et présentent une grande variété de formes. Nous nous bornerons ici à une description sommaire des principales formes que l'on rencontre sur le littoral karimbola, en essayant de déterminer chaque fois la direction du sens du vent générateur des dunes.

A Ankatravitra, on rencontre, immédiatement au-dessus de la haute plage, une étroite bande de nebkas couronnées par une liane rampante psammophile, la patate à Durand (*Ipomea* sp.). Le vent dominant, qui souffle de l'E.S.E., est légèrement oblique par rapport au tracé général de la ligne de rivage ; il remanie par endroits le cordon dunaire littoral et les nebkas, et forme en arrière de ces derniers des

dunes longitudinales en « pointe de sagaie » qui se superposent, à l'intérieur des terres, à des édifices dunaires plus anciens généralement consolidés.

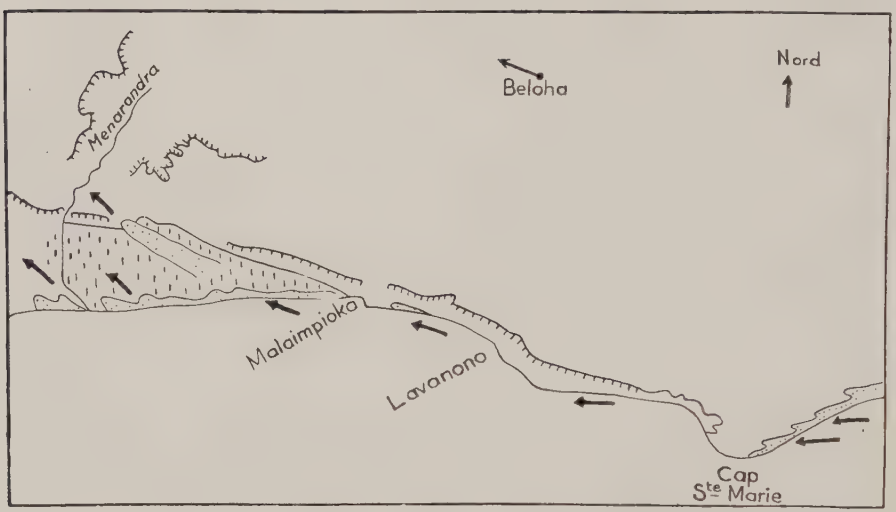



Fig. 40. — Direction du vent dominant sur le littoral karimbola, établie d'après la morphologie des dunes vivantes actuelles. *En pointillé :* dunes vivantes. *En tireté vertical :* dunes fixées. Les *flèches* indiquent la direction du vent dominant.

Les environs immédiats du cap Sainte-Marie sont pauvres en formes dunaires. A l'Ouest du cap Sainte-Marie, entre la rivière d'Ankimohory et Lavanono, il existe seulement un étroit cordon dunaire littoral en bordure de la ligne de rivage. Il est probable que ce faible développement des accumulations dunaires immédiatement à l'Ouest du cap Sainte-Marie est dû à l'avancée du cap qui trouble la dérive littorale générale vers l'Ouest, et en conséquence l'alimentation en sable de la haute plage, et qui protège la plaine de Lavanono du vent dominant soufflant de l'E.S.E.

La formation de champs de dunes est limitée à l'Ouest du cap Sainte-Marie par l'existence des deux redans du cap de Lavanono et du cap Andavaka (cap Malaimpioka de la carte au 1/100.000e). Il faut tenir compte aussi de la direction générale de la ligne de rivage par rapport au sens du vent dominant : entre le cap de Lavanono et le cap Andavaka, le vent dominant est presque parallèle à cette dernière, ce qui est un facteur défavorable au développement de vastes champs de dunes.

A l'Ouest du cap Andavaka, le tracé de la ligne de rivage devient presque Est-Ouest. Ce changement de direction — qui crée un angle de 30 degrés environ avec le sens du vent dominant — et aussi proba-

blement une plus grande abondance des apports de sable par la dérive littorale, sont à l'origine de la formation de l'ensemble dunaire considérable qui s'étend entre Tsivaha et la Menarandra. Cet ensemble, dont la forme générale est celle d'une langue de sable de 10 à 15 km de largeur et de 30 km de longueur entre Tsivaha et le Vohibantaza, monte à l'assaut du plateau jusqu'à l'altitude de 211 mètres à l'Anandriana, qui marque le sommet, et en même temps la pointe extrême, de l'avancée dunaire. Le grand talus intérieur de la plaine de Tsivaha, qui se retrouve de part et d'autre de l'embouchure de la Menarandra, disparaît entre Manorofanana et le Vohibantaza sous les accumulations de sable (Pl. X).

Les autochtones désignent communément ce grand complexe dunaire sous le nom de Dogary ou de « dunes d'Anavaho ». Les parties vivantes de cet ensemble sont les suivantes :

1° Un champ de dunes littorales longitudinales en traînées, mises en place par un vent dominant venant du S.E., et nourries directement par le sable apporté sur la haute plage par la dérive littorale à l'Ouest du cap Andavaka. Ce champ de dunes, large de 1 à 3 km, n'alimente pas le reste du complexe dunaire d'Anavaho. Il recouvre à l'intérieur des terres un champ de dunes longitudinales en « pointe de sagaie » plus anciennes et complètement fixées par une végétation d'euphorbes arborescentes (Pl. X).

2° L'extrémité occidentale de la grande langue de sable qui monte à l'assaut du plateau karimbola. Ce champ de dunes vivantes, long de 12 km et large de 4 km, est alimenté en sable non pas par la dérive littorale, mais semble-t-il par le remaniement de formes dunaires plus anciennes fixées par la végétation. Au Nord du village d'Anavaho la forme dunaire élémentaire est la dune parabolique. Chaque unité mesure entre 1 et 2 km de longueur et presque autant de largeur. Le front de chaque dune avance rapidement, tandis que la traîne est fixée par la végétation (Pl. X).

A mesure que l'on va vers l'extrémité du complexe dunaire, les dunes paraboliques passent à un système de dunes transversales en vagues de 500 mètres à 1 km de largeur. C'est la partie la plus mouvante du grand complexe dunaire. A l'Ouest de la piste d'Ankaboa à Bevoalava, ce front vivant progresse rapidement en ensevelissant la forêt d'épineux et le grand talus intérieur de la plaine côtière sous une nappe de sable épaisse de 10 à 20 mètres (Pl. X).

Les parties vivantes du complexe dunaire du Dogary se superposent à des parties plus anciennes fixées par un couvert végétal, et mises en place par un vent dominant légèrement différent en direction du vent dominant actuel.

Au Nord de l'extrémité vivante du compexe dunaire, les dunes fixées situées au Sud de Tsialangy, d'Ambalamasy et d'Anjedava, qui débordent largement sur le plateau karimbola, représentent la pointe d'une ancienne grande avancée dunaire en forme de langue assez semblable à l'avancée actuelle, mais légèrement oblique à cette dernière. Au Sud-Ouest, dunes vivantes et dunes fixées flandriennes se superposent à l'ancien système dunaire karimbolien, à peu près complètement nivelé, qui affleure dans la berge orientale de la Menarandra en face du village de Behevo.

Les matériaux constituant des dunes de la bordure littorale karimbola sont en majeure partie originaires du socle cristallin. Le quartz et les minéraux lourds (monazite, illménite, grenatite, etc) qui constituent, avec les débris calcaires d'origine biologique, l'essentiel des matériaux des plages et des édifices dunaires, ont été amenés par la dérive littorale depuis le littoral cristallin de l'Anosy — le long duquel existent de nombreux affleurements de roches granitiques et de leptinytes à grenat que la mer dégage de l'arène en mettant en valeur sur l'estran sous la forme de chaos de boules les parties restées saines de la roche en place — et des embouchures du Mandrare et de la Manambovo, fleuves qui charrient, au moment des crues, d'énormes quantités de matériaux arrachés au socle du Nord de l'Androy et à la partie centrale des chaines anosyennes. Les édifices dunaires les plus récents s'engraissent aussi et surtout aux dépens des édifices plus anciens en voie de destruction par l'érosion marine et subaérienne.

Les champs de dunes actuelles ou récentes du littoral karimbola ont été mis en place par l'alizé. De direction presque franchement E ou E.S.E., à l'Est du cap Sainte-Marie, l'alizé tourne au S.E. à l'Ouest du Cap (fig. 40). Plus au Nord, sur le littoral mahafaly, il devient franchement S. à la latitude du lac Tsimanampetsotsa.

En comparant l'orientation des formes actuelles et celle des formes probablement flandriennes fixées par la végétation, il apparaît nettement que la direction de l'alizé n'a pas été toujours exactement la même, et à pu se modifier jusqu'à une époque relativement récente.

L'alizé semble avoir façonné aussi les édifices dunaires de l'Aepyornien moyen et ancien ; ce ne serait donc pas d'aujourd'hui qu'il serait le vent dominant dans cette région. On entrevoit quelles possibilités ouvrirait une étude plus détaillée de l'orientation des dunes du littoral de l'extrême Sud de Madagascar au point de vue des reconstitutions paléométéorologiques.

### Les formes littorales actuelles de l'estran dans la roche en place

Si l'on excepte les grèves sableuses, la plus grande partie des estrans du littoral karimbola sont entaillés dans les roches calcaires

du tertiaire marin ou dans les grès calcaires et les lumachelles de l'Aepyornien. Il faut mettre à part les estrans cristallins et basaltiques situés au Sud-Est de Lavanono dont nous étudierons la morphologie à la fin de ce mémoire.

### 1° La morphologie des estrans calcaires et gréso-calcaires

#### A) *Description de la zonation transversale*

La zonation de l'estran s'apparente à celle déjà décrite par Wentworth (1938) au Iles Hawaï et A. Guilcher et F. Joly (1954) sur le littoral atlantique du Maroc. On distingue deux plateformes, la première entre le niveau des basses-mers moyennes et celui de mi-marée — plateforme inférieure — la seconde entre le niveau des hautes mers et celui des plus hautes mers — plateforme de haute mer —. Ainsi que nous l'avons établi dans un précédent article consacré à la zonation des estrans gréso-calcaires aux environs de Morombe, sur la côte SW de Madagascar (Battistini, 1957a), ces deux plateformes ne sont pas des formes anciennes correspondant à un ou plusieurs stationnements marins à un niveau différent du niveau actuel de la mer, mais des formes contemporaines et actuelles évoluant parallèlement. Leur génèse s'explique par l'intensité relative de plusieurs facteurs d'érosion — érosion mécanique, biologique, chimique — variable aux différentes hauteurs de l'estran. Un ressaut de mi-marée, abrupt et fréquemment en encorbellement, termine habituellement la plateforme de haute mer au-dessus de la plateforme inférieure ; c'est l'un des éléments les plus constants des estrans gréso-calcaires ; nous l'avons retrouvé sur la plus grande partie du littoral sédimentaire de l'extrême Sud de Madagascar. Il est, par endroits, remplacé par une zone à grands lapiès faisant la transition entre la plateforme de haute mer et la plateforme inférieure. Un ressaut de basse mer termine vers le large la plateforme inférieure ; il est moins fréquent que le ressaut de mi-marée, et généralement mieux marqué sur les secteurs du littoral très battus par les vagues, par exemple entre l'extrémité du cap Sainte-Marie et l'embouchure de la rivière Manambovo.

A l'Ouest de l'extrémité du cap Sainte-Marie, la plateforme inférieure s'abaisse par une pente continue jusqu'aux environs du niveau des basses mers. On traverse sur une centaine de mètres de largeur les zones suivantes (fig. 41) :

*a*) au pied du ressaut de mi-marée, un petit trottoir lisse taillé dans la roche en place et large de quelques mètres ;
*b*) une zone à vasques à écoulement vers la mer ;
*c*) enfin, une zone de défoncement des vasques par des marmites contenant fréquemment des gros galets.

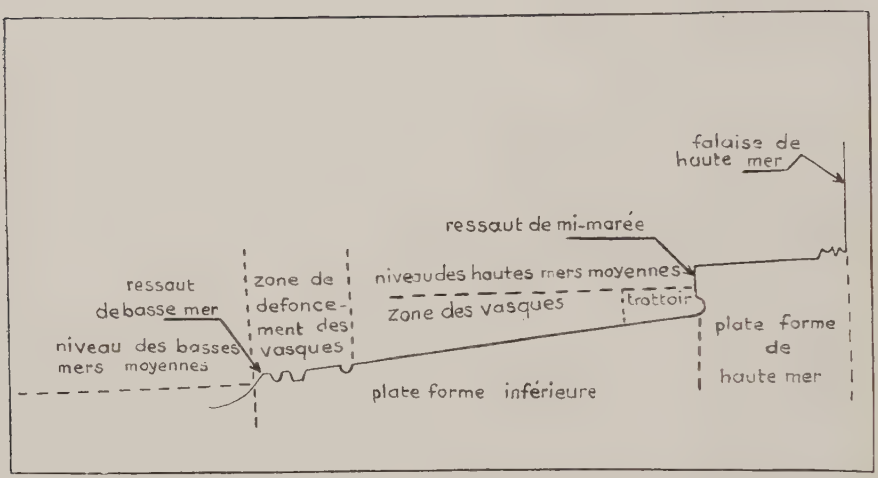



Fig. 41. — Zonation transversale de l'estran gréso-calcaire de la face occidentale du Cap Sainte-Marie.

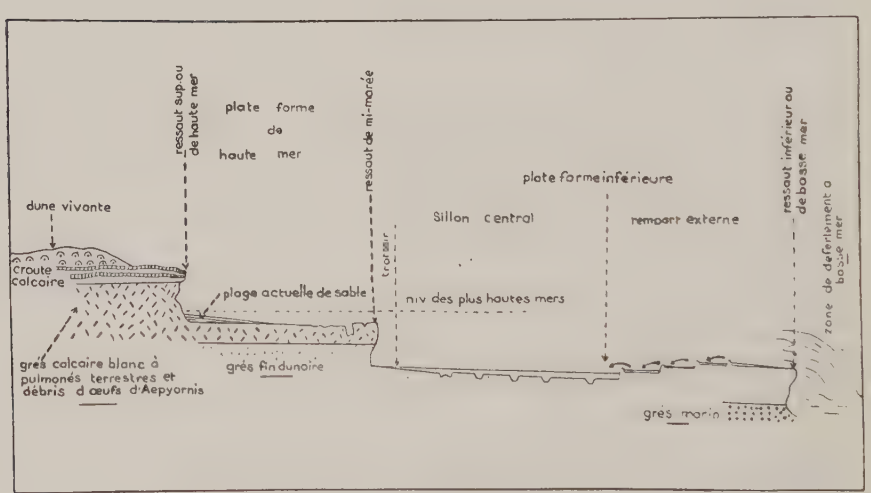



Fig. 42. — Zonation transversale de l'estran gréso-calcaire à Ankatravitra, à l'Est du Cap Sainte-Marie. Coupe selon A-B de la figure 43.

## LÉGENDES DES PLANCHES XII à XVII

### Planche XII

L'extrémité vivante du grand ensemble dunaire du Dogary. On remarque en haut de la photographie la pointe d'un ensemble dunaire flandrien, aujourd'hui presque entièrement fixé par la végétation, mis en place par un vent dominant de direction légèrement différente de la direction du vent dominant actuel. La dune vivante fossilise d'anciennes dunes consolidées, ainsi que le grand talus intérieur qui est visible dans le coin en haut et à gauche de la photographie.

*Photographie aérienne du Service Géographique de Madagascar. Echelle environ 1/60.000e.*

### Planche XIII

A. — Passage de la zone des lapiès aux vasques étagées sur l'estran d'Ankatravitra. Au second plan, ressaut de mi-marée et ressaut de basse mer battu par les vagues.

B. — L'estran d'Ankatravitra. On reconnaît *de gauche à droite* le ressaut de haute mer, la plateforme de haute mer, le ressaut de mi-marée, la plateforme inférieure et le ressaut de basse mer.

### Planche XIV

A. Ressaut de mi-marée et plateforme à grandes vasques à Ankatravitra.

B. — Système de grandes vasques sur le rempart externe à 1 km à l'Est de l'extrémité du Cap Sainte Marie.

### Planche XV

A. — Mares de défoncement du fond rocheux du sillon central sur la plateforme inférieure d'Ankatravitra.

B. — Marmites contenant des galets sur la plateforme inférieure à l'Ouest de l'extrémité du Cap Sainte-Marie.

### Planche XVI

A. — Passage du trottoir aux vasques étagées et au sillon central, par l'intermédiaire d'une zone à perforations circulaires donnant naissance aux vasques.

B. — Réseau de chenaux anastomosés dûs à l'érosion chimique et biologique dans le fond du sillon central, près d'Ankatravitra.

### Planche XVII

A. — Vasques étagées (le marteau donne l'échelle).

B. — Vasques étagées et lapiés résiduels entre les vasques.

A

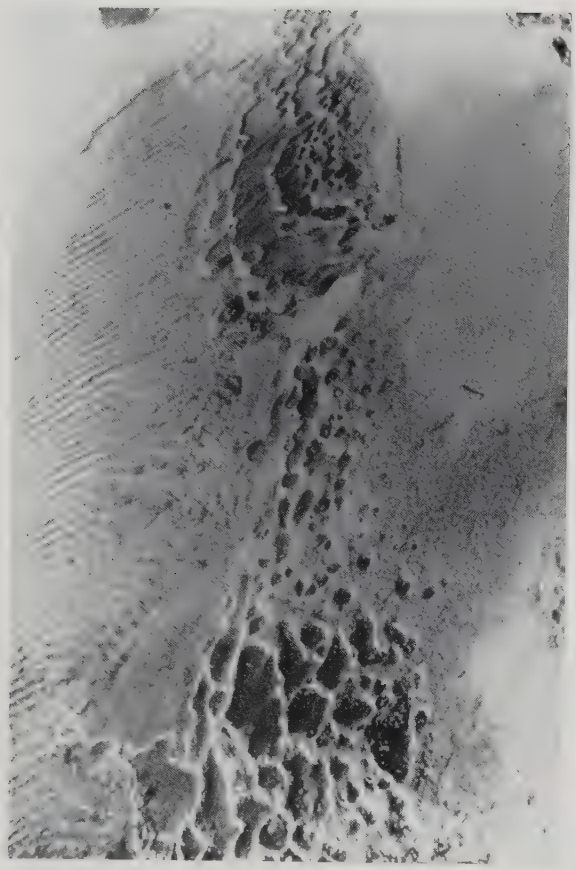
B

A

B

A

B



A

B

A

B

Une zonation semblable de la plateforme inférieure a été décrite par A. Guilcher et F. Joly (1954) sur le littoral atlantique du Maroc.

A l'Est de l'extrémité du cap Sainte-Marie, à Ankatravitra, la plateforme inférieure présente généralement une zonation différente. On traverse de haut en bas les zones suivantes (fig. 42 et 43) :

*a*) au pied du ressaut de mi-marée, il peut aussi exister un petit trottoir lisse dans les grès calcaires, large de quelques mètres au plus ;

*b*) on passe vers le bas, soit directement, soit par un escalier de vasques, à un sillon central rempli d'eau, peu profond, dont le fond est tantôt uni, tantôt présente au contraire une grande variété de formes de détail en creux : trous à bords abrupts en forme de marmites, mares à encorbellement immergé, fentes parallèles étroites et allongées à bords abrupts, canaux anastomosés, etc... (Pl. XV et XVI) ;

*c*) une bordure caractérisée par un rempart externe dépassant de plusieurs dizaines de centimètres, et parfois d'un mètre cinquante, le niveau du plan d'eau du sillon.

B) *Les vasques étagées*

Ce sont des formes de détail de la plateforme inférieure qui déterminent sur l'estran une succession de plans d'eau peu profonds étagés en marches d'escalier. Ces plans d'eau sont séparés les uns des autres par des cloisons dans la roche en place, qui viennent à fleur d'eau ou émergent très faiblement, de quelques millimètres à deux centimètres (voir les photographies). Lorsqu'il y a une circulation d'eau sur l'estran, le déversement se fait par-dessus toute la longueur de chaque cloison, de la vasque supérieure à la vasque inférieure. La taille des vasques est très variable : on en rencontre de très petites dont la longueur ne dépasse pas 10 centimètres, et de très grandes dont la longueur est supérieure à 20 mètres. La dénivellation entre deux vasques successives est également très différente selon les cas : elle est parfois de 1 cm à peine, mais dépasse quelquefois 30 cm ; il existe cependant toujours une dénivellation, aussi petite soit-elle, entre deux vasques successives. Les cloisons séparatrices sont sinueuses et étroites ; elles présentent une grande régularité en ce qui concerne la largeur — qui semble réduite au minimum nécessaire pour la rétention du plan d'eau supérieur — et la hauteur — on n'observe jamais d'abaissement de la cloison ou de brèche, ce qui entraînerait l'assèchement de la vasque supérieure—.

Des formes identiques ont été décrites par A. Guilcher et F. Joly sur le littoral atlantique du Maroc dans des grès quaternaires et des calcaires secondaires (1954). Ces auteurs les interprètent comme des formes de corrosion ; pour expliquer la conservation des cloisons sépa-

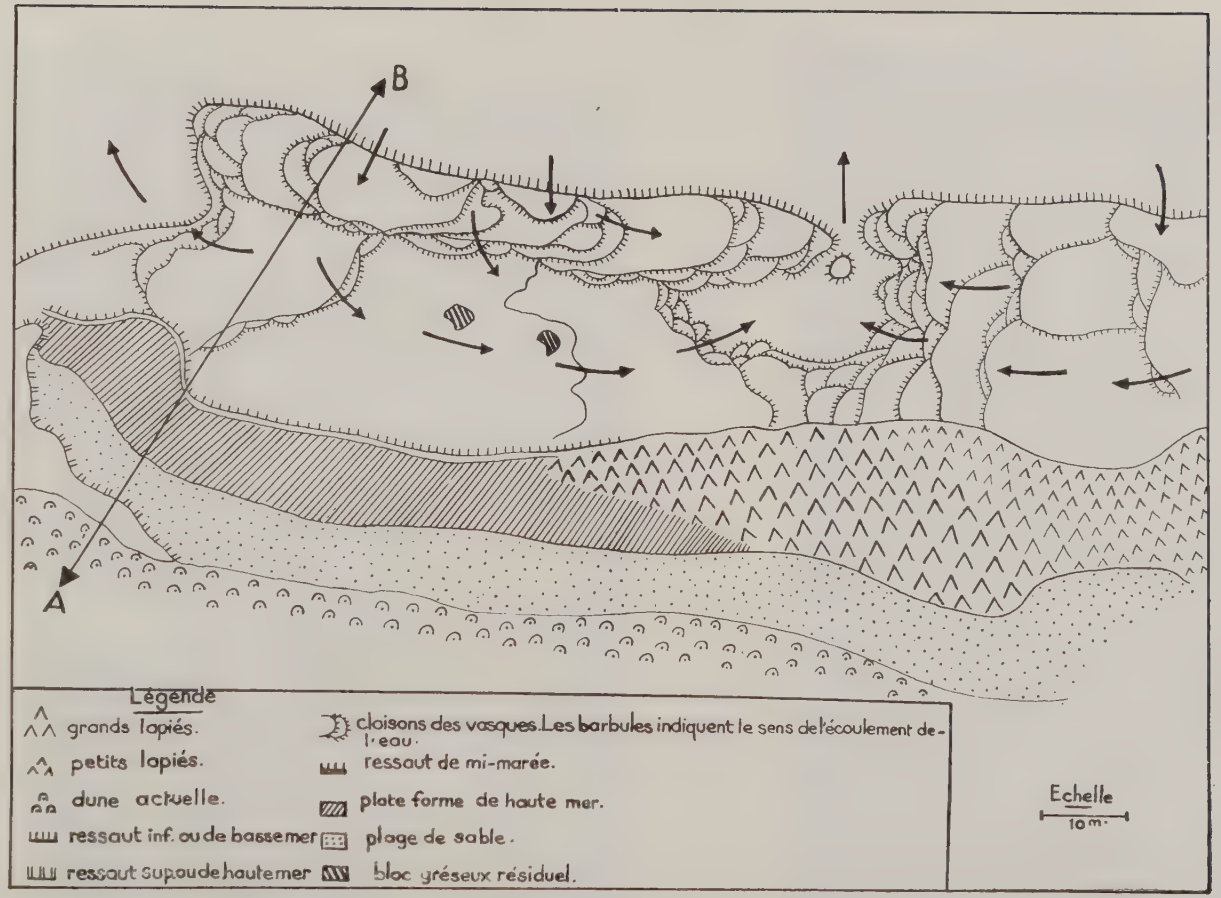



Fig. 43. — Plan d'une partie de l'estran gréso-calcaire des environs d'Ankatravitra. Les flèches indiquent le sens de l'écoulement des eaux de déferlement par dessus le rempart externe et dans le sillon central.

ratrices, ils admettent l'hypothèse d'une protection par des patelles ou par d'autres organismes qui, dans les cas observés au Maroc, sont en effet rassemblés fréquemment dans ces parties à fleur d'eau. A Madagascar, on rencontre souvent des vasques à cloisons parfaitement nues : l'explication fournie par A. Guilcher et F. Joly n'est donc pas valable dans tous les cas et il est nécessaire d'en trouver une autre (1).

Nous examinerons d'abord comment ces formes prennent naissance sur l'estran.

Dans de nombreux cas, le système des vasques apparaît à la partie tout à fait interne de la plateforme inférieure. La planche 23 montre le passage direct des lapiès de démantèlement de la plateforme de haute mer à un système de vasques sur la plateforme inférieure. Ainsi que nous l'avons signalé dans un précédent article (Battistini, 1957a), la réduction des lapiès se fait en fonction d'un niveau de base qui est le niveau supérieur de la nappe d'imbibition permanente de la roche. Ce niveau a un rôle morphologique majeur ; c'est lui, en effet, qui détermine le profil d'équilibre de l'estran en contre-bas du ressaut de mi-marée. La réduction des lapiès, effectuée en fonction de ce niveau, devrait normalement aboutir au dégagement d'un plan régulier faiblement incliné vers la mer coïncidant sensiblement avec la surface supérieure de la nappe d'imbibition permanente. C'est ce que l'on observe en effet quelquefois lorsqu'il y a dégagement d'un trottoir lisse en avant du ressaut de mi-marée ou en avant de la zone des lapiès résultant de la dégradation de la plateforme de haute mer. Mais dans d'autres cas, au lieu de ce trottoir, il y a apparition immédiate d'un système de vasques dont les cloisons tangentes en leur sommet à la surface supérieure de la nappe, s'appuient aux pitons résiduels lapiazés (Pl. XVII, B). Les cloisons des vasques prennent naissance et s'allongent aux dépens de ces pitons résiduels, au fur et à mesure de leur corrosion. Toutes les parties de la roche qui se trouvent au-dessus du niveau supérieur de la nappe d'imbibition permanente sont destinées à disparaître ; au terme de l'évolution, seul demeure le système des vasques, mais de plus grand format.

Nous avons écrit que quelquefois un trottoir parfaitement lisse enentaillé dans la roche en place et en pente de quelques degrés vers la mer s'interposait entre la zone des lapiés ou la base du ressaut de mimarée et la zone des vasques. La partie parfaitement lisse de ce trottoir dépasse rarement 2 ou 3 mètres de largeur. Très rapidement des perforations apparaissent du côté externe, d'abord de la taille d'un dé

(1) A l'Est de la pointe Nord de Nosy Lava, près d'Analalava, A. Guilcher nous signale verbalement qu'il a observé en 1954 des vasques sans patelles et que, par conséquent, la présence de patelles ne semble pas être la véritable explication de la conservation des cloisons.

à coudre, puis de la taille d'une soucoupe ; rondes ou légèrement ovales, aussi profondes que larges, elles sont remplies d'eau à ras bord — puisque le plan du trottoir correspond sensiblement à la surface supérieure de la nappe d'imbibition permanente (Pl. XVI, A)—. Lorsque ces perforations dépassent une dizaine de centimètres de diamètre, il est fréquent qu'elles contiennent un ou plusieurs petits galets. En même temps, leur rebord devient en saillie par rapport à la surface générale du trottoir.

Dans la partie tout à fait externe du trottoir, on observe une zone de dégradation de ce dernier et de passage à la zone des vasques. Les perforations circulaires s'agrandissent sans s'approfondir ; en même temps, la saillie du bourrelet marginal s'accentue ; devenues contigues, elles continuent à être séparées par le relief du bourrelet. On passe progressivement à un système de petites vasques : la cellule de chaque vasque dérive directement du creux de l'une des perforations primitives, et les cloisons séparatrices de l'évolution du bourrelet marginal (fig. 44).

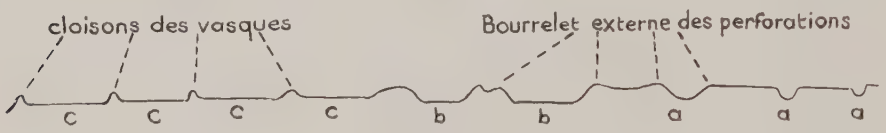



Fig. 44. — Passage des perforations (*a*) du trottoir de la plate-forme inférieure à un système de vasques (*c*).

Au fur et à mesure du recul de la ligne de rivage, le système de vasques s'enfonce sur place en chaque point en même temps que le profil général de l'estran. Il est remarquable que les cloisons séparatrices gardent une hauteur constante au cours de cet enfoncement. Aucune partie du système ne reste en retard par rapport aux parties voisines au cours de cette évolution.

Nous proposons pour expliquer ce fait l'hypothèse d'un abaissement régulier des cloisons lié à l'action intense de la corrosion au-dessus du niveau de la nappe d'imbibition permanente. Nous savons que les phénomènes de corrosion agissent en effet beaucoup plus rapidement dans la zone de balancement de la nappe qu'au-dessous de la limite inférieure de cette zone. Or on observe que dans la totalité de la section de chaque cloison de vasque, le grès calcaire demeure toujours imprégné d'eau, même dans le cas des vasques les plus élevées sur l'estran, qui peuvent rester émergées plusieurs heures à chaque marée. Cette imprégnation s'explique par la capillarité du matériel gréso-calcaire qui permet la remontée de l'eau jusqu'à une certaine limite dans

la cloison (quelques millimètres à quelques centimètres au-dessus du niveau du plan d'eau de la vasque supérieure).

Dans les parties de l'estran exposées aux vagues et riches en galets ou en sable permettant une érosion mécanique importante, les escaliers de vasques n'existent pas, ou bien leur netteté s'oblitère. Ce n'est pas le déferlement de puissantes masses d'eau qui gêne le développement de ces formes délicates, mais l'érosion mécanique produite par le bombardement par les galets et par le sable. On en a la preuve dans le beau développement des vasques sur le rempart externe, forme propre aux sections de littoral les plus exposées à la houle, que nous allons décrire ensuite.

C) *Les pinacles à coussinets d'huîtres*

Entre l'extrémité du cap Sainte-Marie et Beandrovo, c'est-à-dire sur la face sous le vent du cap, d'importantes colonies d'huîtres recouvrent la plateforme inférieure et donnent à cette dernière une morphologie particulière. Les huîtres tapissent complètement la surface de pinacles résiduels qui restent en saillie de 20 à 50 cm par rapport aux autres parties de la plateforme inférieure. Ces pinacles sont particulièrement bien développés dans des parties de la plateforme où seule semble jouer la corrosion, en l'absence de toute érosion mécanique notable. Les huîtres sont à l'origine de la conservation des pinacles, et non fixées postérieurement à leur individualisation. On en a la preuve dans l'observation des différents stades de la formation de ces derniers. La raison pour laquelle l'action de la corrosion est stoppée ou freinée par l'existence de coussinets d'huîtres protecteurs reste à déterminer.

D) *Le rempart externe et le sillon central*

La disposition avec rempart externe et sillon central est particulièrement nette aux environs d'Ankatravitra.

Le rempart crée une contre-pente dans le profil général de l'estran. Il est taillé dans la roche en place. Large de 10 à 25 m, il se termine du côté de la mer par un ressaut abrupt de basse mer avec encorbellement et trous souffleurs. Le ressaut de basse mer domine généralement des fonds de 3 à 8 m, et contre lui les vagues se brisent inlassablement à marée basse et jusqu'à la mi-marée. Du côté de la terre, le rempart externe descend par un escalier de vasques vers le sillon central ; l'eau apportée par les vagues qui se brisent contre le ressaut de basse mer passe par-dessus le rempart et s'écoule vers le sillon central par l'escalier de vasques (fig. 43).

Le sillon central joue le rôle de canal collecteur de toutes les eaux qui se déversent par-dessus le rempart externe. Ces eaux circulent dans le sillon sur une distance plus ou moins grande (parfois plus de 200 m)

parallèlement à la direction du rivage, jusqu'à un déversoir qui correspond à une interruption souvent étroite et brutale du rempart externe ; elles y rencontrent les eaux venant en sens inverse de la section littorale contiguë. A Ankatravitra, le sillon central est peu profond. Le système des vasques se prolonge sur le fond du sillon.

Lorsque la houle dominante arrive très obliquement au littoral, il y a une dissymétrie de l'écoulement dans le sillon central, la plus grande partie des eaux s'écoulant dans le sens de la dérive littorale. Au départ du point de divergence, l'écoulement est sensiblement laminaire. Le courant s'accentue chaque fois qu'il est alimenté par un train de vagues plus puissantes déferlant par-dessus le rempart. A l'approche de chaque déversoir, la vitesse augmente et les eaux, se mêlant à celles qui viennent de la section contiguë du sillon, s'échappent par la coupure ménagée à travers le rempart et rejoignent la mer en bouillonnant. Après l'arrivée de chaque train de vagues particulièrement puissantes, capables de projeter une grande quantité d'eau par-dessus le rempart externe, l'écoulement dans le sillon central prend une allure torrentielle.

Une disposition semblable à celle que nous décrivons a été observée aussi par A. Guilcher et F. Joly (1954) sur le littoral atlantique du Maroc. Ces auteurs expliquent l'existence du rempart externe ainsi que le système de vasques à écoulement vers le sillon central par l'arasement d'un cordon dunaire consolidé et ennoyé en avant de la ligne de rivage actuelle. Sur le littoral atlantique du Maroc, il est certain que cette explication est la bonne : en effet, on retrouve dans le prolongement du rempart externe des sections qui n'ont pas été encore arasées du cordon dunaire ancien, sous la forme de reliefs en hog's back, la dune ancienne consolidée ayant été tronquée sur sa face exposée à la houle. Sur le littoral karimbola, on ne possède pas les mêmes arguments pour étayer une telle interprétation, qui ne peut être considérée pour le moment que comme une hypothèse de travail.

### 2° Morphologie de l'estran cristallin de la région d'Ambavarano

Dans le secteur côtier correspondant à l'affleurement du socle cristallin au Sud de Lavanono on observe partout, émergeant de dessous une haute plage sableuse, étroite et en pente forte, un chaos de blocs arrondis en forme de boules ou de coussinets qui occupe les parties moyennes et inférieures de l'estran. Ces boules et ces coussinets reposent quelquefois sur des lambeaux de surfaces rocheuses lisses, ou parfois émergent d'amas d'une blocaille mal roulée ou d'espaces occupés par un sable vaseux à débris de coquilles. L'individualisation et le dégagement des boules apparaissent nettement liés à l'existence de diaclases, de fentes de retrait, ou de plans de schistosité qui affectent la masse des migma-

lites à amphiboles affleurant le long de ce secteur côtier. L'essentiel du dégagement de ces formes de l'arène et du gore s'est sans doute effectué dès le maximum marin karimbolien. On n'assiste actuellement qu'à une nouvelle exhumation, en arrière et au fur et à mesure du recul du cordon de plage actuel.

Il est intéressant de remarquer combien la morphologie de cet estran est semblable à celle que l'on peut rencontrer dans les roches identiques dans les régions tempérées. En beaucoup d'endroits du littoral du Léon où affleurent surtout des roches de la famille des granites, on observe une morphologie et une zonation de l'estran tout à fait identique à celle que nous décrivons ici.

Nous avons vu que l'influence du climat était un facteur fondamental dans l'explication de la morphologie des estrans calcaires ou gréso-calcaires. Il y a une morphologie climatique extrêmement riche et intéressante de ces estrans (Guilcher, 1953). Il n'en est pas de même des estrans façonnés dans les roches cristallines. Dans des régions de Madagascar ayant un climat tropical humide, on observe un dégagement semblable de boules ou de coussinets sur estran : par exemple, à Sainte-Luce, sur la côte Est, à 30 kilomètres au Nord de Fort-Dauphin. Sans aller jusqu'à écrire qu'il n'y a pas de morphologie climatique des estrans granitiques, nous pensons que l'influence du climat sur la morphologie de ces estrans est infiniement moins marquée que sur celle des estrans calcaires ou gréso-calcaires. La cause en est la sensibilité beaucoup moins grande des roches cristallines à la corrosion.

L'arénisation de la roche en profondeur, plus ou moins active selon les climats, prépare le dégagement des boules par l'action mécanique des vagues, qui constitue le facteur d'érosion prédominant sur les estrans de roches cristallines, facteur par définition azonal.

### 3° Morphologie de l'estran basaltique de Lavanono

Le basalte de Lavanono est caractérisé par une structure cellulaire en prismes de petite taille. L'érosion marine a façonné de grands platiers dans ces basaltes, en particulier au lieu dit Ambatomainty, dans la partie inférieure de l'estran. La morphologie de détail de ces platiers est déterminée par la structure cellulaire : le centre des cellules est généralement en relief, tandis que leur périphérie, correspondant à la discontinuité entre deux cellules jointives, est évidée par l'érosion marine. Il serait intéressant de déterminer par une analyse pétrographique s'il existe une différence de composition minéralogique entre le centre et la périphérie des cellules, permettant d'expliquer une action plus ou moins grande de la corrosion selon les parties de la roche.

En dehors de ces formes de détail, il y a peu de choses à signaler concernant la morphologie de cet estran basaltique. Il peut être intéressant de constater que l'on ne retrouve pas à Lavanono les formes décrites par WENTWORTH (1939) sur les estrans basaltiques des Iles Hawaï : en particulier le rempart externe, et les mares étagées de corrosion. La raison en est peut-être dans une différence notable entre le climat des Iles Hawaï, beaucoup plus humide, et le climat du littoral karimbola.

## BIBLIOGRAPHIE

ARCHAMBAULT (J.), 1956. — Données pour l'équipement d'hydraulique pastorale de l'extrême Sud de Madagascar. — Insp. Gen. de l'Elevage.

AUFRERE (L.), 1931 — Le cycle morphologique des dunes. — *Ann. de Geogr.*, XL, pp. 362-385, 10 fig. 2 pl.

AUROUZE (J.), 1955. — Deuxième campagne de recherche d'eau dans le Sud de Madagascar. — Rapport annuel du Serv. Géol. pour 1955, pp. 109-114.

— 1956. — Répertoire des points d'eau du Sud de Madagascar. — Arch. Serv. Géol. A. 1022.

AUZEL (M.) et CAILLEUX (A.), 1949. — Silicifications nord-sahariennes. — *Bull. Soc. géol. France*, p. 553-561.

BARRABE (L.), 1929. — Contribution à l'étude stratigraphique et pétrographique de la partie médiane des Pays Sakalaves. — *Mém. Soc. Géol. Fr.*, nouv. série, t. 5, mém. 12, 269 p.

BARRADAS (L. A.), 1947[a]. — Quaternary formation in Southern Mozambique. — Proceedings of the first Pan African Congress on Prehistory, 1947.

— 1947[b]. — A chronology of the quaternary in Southern Mozambique. — Proceedings of the first Pan African Congress on Prehistory, 1947.

BATTISTINI (R.), 1953. — Le littoral septentrional du Léon : principaux problèmes morphologiques. — *Bull. Ass. Géogr. Fr.*, n° 233, pp. 58-71, 5 fig.

— 1957[a]. — La zonation de l'estran dans les grès littoraux du Cap Mandevitse près de Morombe (côte Sud-Ouest de Madagascar). *Mém. Inst. sci. Madag.*, D. VIII.

— 1957[b]. — Note préliminaire sur le niveau marin de 3 mètres et les séries dunaires de l'extrême sud de Madagascar. — *Bull. Soc. Géol. France*, VII, fasc. 1-3, p. 83.

BAULIG (H.), 1952[a]. — Cycle et climat en géomorphologie. Cinquantième anniversaire du laboratoire de Géographie. Rennes.

— 1952[b]. — Eustatisme et isostasie. — *C. R. Ac. Sc.*, 254, pp. 781-783.

BESAIRIE (H.), 1930. — Recherches géologiques à Madagascar. Contribution à l'étude des ressources minérales. — *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 60, n° 2, pp. 101-103.

1939. — Mission hydrogéologique dans l'Androy. — *Arch. Serv. Géol.* A 88, et résumé sommaire in *Bull. Ac. Malg.*, t. XXII.

— 1944. — Hydrogéologie de l'extrême Sud de Madagascar. — *Arch. Serv. Géol.* A, 129.

— 1948. — Recherches géologiques à Madagascar. 2[e] suite : l'extrême Sud et le Sud-Est. — Tananarive. 2 volumes dactylographiés.

— 1955. — Hydrogéologie du Sud de Madagascar. — Documentation du Serv. Géol., n° 104.

— et Pavlovsky (R.), 1950. — Carte hydrogéol. du Sud de Madagascar. — Documentation du Serv. Géol., n° 16.

Birot (P.), 1955. — Les Méthodes de la morphologie. — *Presses Univ. France.* Paris.

Borges (A.), 1937. — Progrès réalisés dans la géologie du Mozambique par les services Officiels de la Colonie. — La Chronique des Mines Coloniales (Paris), n° 62.

— 1939. — Depositos tertiarios e post-pliocenos do distrito de Inhambane. — Serv. Geol. e Minas, Boll. n° 3.

Bourcart (J.), 1949. — Nouvelles observations sur le Quaternaire du littoral marocain entre Casablanca et Safi. — *Bull. Soc. Géol. France,* (5) XIX, pp. 453-465, 9 fig.

— 1952. — Sur le Quaternaire marin de Mazagan à Mogador et sur la non-existence de l'étage « ouljien ». — *Bull. Soc. Géol. France,* (6) II, pp. 441-452, 5 fig.

Breuil (H.), 1948. — Ancient raised beaches and prehistoric civilisation in South Africa. — *Q. Afr. J. Science,* XLIV, pp. 61-74.

Briquet (A.), 1930. — Le littoral du Nord de la France et son évolution morphologique. — Thèse Paris, Colin, in-8°, 439 p., 151 fig., 1 pl.

Cailleux (A.), 1943. — Distinction des galets marins et fluviatiles. — *Bull. Soc. géol. France,* (5) XIII, pp. 125-138, 7 fig.

— 1952. — Observations à la communication de M. Zeuner sur les niveaux marins. — *Geol. Rundschau* (Stuttgart), p. 51.

Cholley (A.), 1950. — Morphologie structurale et morphologie climatique. — *Ann. Géogr.,* pp. 321-325.

Choubert (G.), 1953. — Sur les rapports entre formations marines et continentales quaternaires. — *C. R. Ac. Sc.,* t. 237, pp. 826-828.

Cooke (H.B.S.). 1941. — A preliminary survey of the quaternary period in Southern Africa. — Union of S. Africa, Bureau of Archaeology, series n° IV.

— 1952. — Quaternary events in South Africa. — Proceedings of the first Pan-African Congress on Prehistory 1947.

Cox (L. R.), 1927. — Neogene and Quaternary Mollusca from the Zanzibar Protectorate. — Report of the Paleontology of the Zanzibar Protectorate, pp. 14-180.

Dalloni (M.), 1940. — Notes sur la classification du Pliocène supérieur et du Quaternaire. — *Bull. trimestr. Soc. Géogr. et archéol. Oran,* t. 61, fasc. 214.

Dangeard (L.), 1936. — Sur la définition d'un étage Normannien. — *C.R. Somm. Soc. Géol. France,* pp. 164-165.

David (R.)., 1940. — Le problème anthropologique malgache. — *Bull. Ac. Malg.,* t. 23, 32.

Decary (R.), 1918. — Note hydrologique sur l'extrême Sud de Madagascar. — *Rev. Agr. et Vét.,* Tananarive, n° 26.

— 1928. — Contribution à la géologie de l'extrême Sud de Madagascar. — *Bull. Soc. géol. France*, 4e série, t. 28.

— 1930. — L'Androy. — 2 vol. Paris.

— 1935. — Sur le soulèvement récent du littoral de l'Anosy. — *C. R. Somm. Soc. Géol. France*, 16 décembre.

Defoort, 1913. — L'Androy. — *Bull. écon. Madag.*

Dubois (G.), 1924. — Recherches sur les terrains quaternaires du Nord de la France. — Thèse Sciences, *Mém. Soc. Géol. Nord*, VIIII, 1, Lille, in-8°, 357 p., 41 figs. 6 pl.

Du Toit (A. I.), 1933. — Crustal movement as a factor in the geographical evolution of South Africa. — *S. Afr. Geogr. Journ.*, XVI, 20 p.

Emery (K. O.), 1946. — Marine solution Basins. — *J. Geol.* (Chicago), t. 54, pp. 209-228, 15 fig.

Fairbridge (Rh. W.), 1947-1948. — The Geology and Geomorphology of Point Peron, Western Australia. — *J. Roy. Soc. Western Australia*, vol. 34, 1947-48, pp. 35-72.

— et Gill (E. D.), 1947. — The study of eustatic changes of sea-level. — *Austral. J. Sc.*, X, 3.

Germain (L.), 1916-1921. — Paléontologie de Madagascar. IX. Mollusques quaternaires terrestres et fluviatiles. — *Ann. Paléont.*, t. X, pp. 23-56, 5 pl.

Gigout (M.), 1949. — Définition d'un étage Ouljien. — *C.R. Ac. Sc.*, t. 229. pp. 551-552.

— 1951. — Etudes géologiques sur la Meseta marocaine occidentale. — Thèse Sciences Paris. Trav. Inst. Sc. Chérifien, n° 3, Rabat, in-4°, 507 p., 65 fig., XVIII et 9 pl.

— 1953. — A propos de la note de J. Bourcart : sur le Quaternaire marin de Mazagan à Mogador et la non-existence de l'étage « ouljien ». — *C. R. Somm. Soc Géol. France*, pp. 311-313.

Givaco (A. V.), 1950. — Sur les formes de dissolution et d'abrasion des calcaires de la côte Ouest de la Crimée. — *Izvestia Vsesoiousnogo Geographitcheskogo Obschestva* (Moscou), t. 82, n° 6, pp. 615-618 (en russe).

Grandidier (A.), 1867. — Observations sur le gisement des œufs de l'Aepyornis. — *C. R. Séan. Ac. Sc.*, 9 sept., t. LXV.

Guilcher (A.), 1948. — Le relief de la Bretagne méridionale, de la Baie de Douarnenez à la Vilaine. — Thèse Lettres. Paris, La Roche-sur-Yon, Poitiers, in-8° 682 p., 113 fig., 8 dépl.

— 1951. — Observations sur la morphologie du littoral atlantique du Maroc. — Comité d'Océanogr. et d'Et. des Côtes du Maroc, séance du 25 oct. 1951, pp. 8-10.

— 1952a. — Formes de décomposition chimique dans la zone des embruns et des marées sur les côtes britanniques et bretonnes. — Vol. Cinquantenaire Labor. Géogr. Université Rennes, 1952, pp. 167-181, 2 fig., 4 pl.

— 1952[b]. — Formes littorales de dissolution des calcaires : essai de distribution zonale sur le globe. — Congr. Intern. Géogr. Washington, 1952, Abstract of papers, p. 35.

— 1953. — Essai sur la zonation et la distribution des formes littorales de dissolution du calcaire. — *Ann. Géogr.* (Paris), t. 62, pp. 161-179, 5 fig., 2 pl. h. t.

— 1955. — La plage ancienne de la Franca (Asturies). — *C.R. Ac. Sc.*, t. 241, p. 1603-1605, Séance du 28 nov. 1955.

Heinzelin (J.), 1952. — Sols, paléosols et désertifications anciennes dans le secteur nord-oriental du bassin du Congo. — Bruxelles 1952.

Hills (E. S.), 1949. — Shore platforms. — *Geol. Magazine* (Londres), t. 86, pp. 137-152, 3 pl., 2 fig. (contient une bibliographie des travaux australiens).

Jaranoff (D.), 1936. — L'évolution morphologique du Maroc atlantique pendant le Pliocène et le Quaternaire. — *Rev. Geogr. Phys. Géol. Dynam.*, t. IX, pp. 301-332.

Jodot, 1952. — Le peuplement de Madagascar par les mollusques continentaux. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, t. IV, D, fasc. 2.

Kuenen (Ph. H.), 1950. — Marine Geology. — New York. Wilev. in-8° 56° p. 246 fig., 2 pl.

Lecointre (G.), 1939. — Sur le Pliocène et le Quaternaire du Sud-Ouest marocain. — *C. R. Somm. Soc. Géol. France*, pp. 158-160.

— 1949[a]. — Sur le Quaternaire des environs de Casablanca. — *Bull. Soc. Géol. France*, (5), XIX, pp. 585-594, 1 fig.

— 1949[b]. — Niveaux paléontologiques dans le Quaternaire marin de Casablanca. — *C. R. Ac. Sc.*, t. 229, pp. 1247-1249.

— 1952. — Recherches sur le Néogène et le Quaternaire marins de la côte atlantique du Maroc ; t. 1 ; stratigraphie, t. 2 ; Paléontologie. Notes et Mém. du Serv. Géol. du Maroc, Rabat, n° 99, 2 vol. in-4°, 198 et 173 p., 100 et 13 fig., 8 et 28 pl. ph.

Lenoble (A.), 1949. — Les dépôts lacustres pliocènes-pléistocènes de l'Ankaratra (Madagascar). — *Ann. géol. Serv. Mines* (Madagascar), fasc. XVIII.

Martin (S.), 1955. — L'évolution comparée des rivages en Bretagne et dans l'Ouest des Iles britanniques pendant la période quaternaire. — Norois.

Mortelmans (G.). 1945. — Plages soulevées à industries lithiques de la région de Keurbooms River, district de Knysna, province du Cap. — *S. Afr. J. of Science*, t. 41.

Nilsson (E.), 1940. — Ancient changes of climate in British Africa and Abyssinia. — *Geografiska Annales.*

— 1952. — Pleistocene climatic changes in East Africa. — Proceedings of the first Pan-African Congress on Prehistory, 1947.

Pavlovsky (R.), 1950[a]. — Hydrogéologie de la zone côtière Mahafaly. — Travaux du Bur. Géol., n° 18.

— 1950[b]. — Recherches hydrogéologiques dans l'extrême Sud de Madagascar (campagne 1949). — Travaux du Bur. Géol., n° 10.

Perrier de la Bathie (H.), 1921. — La végétation malgache. — Paris.

Riquier (J.), 1954. — Etude sur les « lavaka ». — *Mém. Inst. sci. Madag.* D., VI.

Riquier (J.), Moureaux (Cl.) et Segalen (P.), 1952. — Etude pédologique de la basse vallée de la Menarandra. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, IV.

Wayland (E. J.), 1934. — Rifts, rivers, rains and early Man in Uganda. — *J. royal Anthr. Inst.*, LXIV.

— 1952. — The study of past climates in tropical Africa. — *Proc.* of the first Pan-African Congress on Prehistory, 1947.

Wentworth (C. K.), 1938. — Marine bench-forming processes : waterlevel weathering. — *J. Geomorph.* (Columbia Univ. Pres. New York), I, pp. 6-32, 13 fig.

— 1939. — Marine bench-forming processes : solution benching. — *J. Geomorph.*, II, pp. 3-25 12 fig.

Wright (W. B.) et Muff (H. B.), 1904. — The pre-glacial Raised Beach of the South Coast of Ireland. — *Sc. Proc. Roy. Dublin Soc.*, t. 10

Zbyszewski (G.) et Teixeira (C.), 1949. — Le niveau de 5-8 mètres au Portugal. — *Bol. Soc. Geol. Portugal*, VIII, 1-2, pp. 1-6.

MÉMOIRES DE L'INSTITUT SCIENTIFIQUE DE MADAGASCAR
Série F. — Tome II. — 1958

# NOTE SUR L'EXISTENCE D'ENCOCHES FOSSILES DE CORROSION MARINE DANS LA BAIE DES GALIONS

## (extrême Sud de Madagascar)

## et sur les variations récentes du niveau de la mer

par

R. BATTISTINI

Les encorbellements littoraux (visors) sont extrêmement fréquents dans le Sud de Madagascar, dans les calcaires ou les grès calcaires exposés à l'érosion marine dans la zone intercotidale. On sait que ces formes, que l'on trouve aussi en Méditerranée, connaissent leurs dimensions maxima dans les mers chaudes, où elles ont été signalées et décrites par de nombreux auteurs (1) : en Mer Rouge et dans le Golfe d'Aden par C. Crossland (1907-1915), Ch. Gravier (1911), W. Macfadyen (1930), W. Panzer (1949) et A. Guilcher (1955) ; en Indochine par Ph. Kuenen (1933 et 1950) ; en Australie par Rh. Fairbridge (1946-1947 ; 1947-1948 et 1950) et C. Teichert (1946) ; aux îles Fidji par W. Davis (1928), etc...

Dans le Sud et l'Ouest de Madagascar, le visor principal domine une plateforme à vasques, que nous avons appelée aussi « plateforme de basse mer », qui s'étend entre le niveau des basses mers moyennes et le niveau de mi-marée (Battistini, 1957). Il existe souvent un autre encorbellement en partie immergé même aux plus grandes basses mers, à la base du « ressaut de basse mer », qui limite la plateforme à vasques vers le large au-dessus des fonds de plusieurs mètres.

Seul le visor supérieur nous intéresse ici. Son origine a été discutée par Rh. Fairbridge (1946-1947) et A. Guilcher (1955). Rh. Fairbridge en Australie et K. Emery (1946) en Californie ont montré l'importance des phénomènes de dissolution dans l'érosion par la mer des roches calcaires dans les mers chaudes. A. Guilcher (1955, p. 73)

(1) Nous nous sommes servi des bibliographies détaillées concernant les formes de corrosion littorale et le problème des encoches superposées qui existent dans A. Guilcher 1952, 1953, 1954, 1955.

étudiant les encorbellements actuels et fossiles de l'île d'Abulat, en Mer Rouge, arrive à la conclusion que l'action mécanique des vagues ne peut avoir eu un rôle déterminant dans leur génèse : en de nombreux endroits, où ces formes sont bien développées, la mer ne dispose pas en effet de galets ou de graviers pour bombarder le pied de la falaise. Cet auteur remarque une relation nette entre l'importance des encorbellements et le degré d'agitation de la mer, fonction de l'exposition. Cette activation de l'évolution par les déferlements serait de nature chimique ou biochimique.

Nous sommes parvenu aux mêmes conclusions en étudiant le visor qui domine la plateforme à vasques du Cap Mandevitse, au Nord de Morombe (Battistini, 1957a). En cet endroit, l'absence fréquente de tout matériel détritique sur la plateforme à vasques oblige à considérer la seule corrosion comme responsable de la formation de l'encoche.

L'altitude très constante de l'encoche, légèrement au-dessus du niveau de mi-marée, fait de cette dernière un repère morphologique extrêmement utile. Elle permet en particulier de se faire une idée précise de certaines des variations très récentes du niveau de la mer, par l'étude des encoches superposées fossiles correspondant à d'anciens stationnements.

Dans la baie des Galions, située au centre du pays Tatsimo, à 40 km au Sud-Ouest de Fort-Dauphin (fig. 1), la disposition en encoches superposées est particulièrement nette. Le marnage est peu important sur ce littoral, et habituellement inférieur à 1 mètre (0,84 m entre les plus hautes mers et les plus basses mers possibles à Fort-Dauphin). Le fond de la baie est constitué par une vaste plage de sable, au milieu de laquelle débouche l'exutoire de la grande lagune du Ranofotsy (fig. 2). Les deux côtés de la baie sont au contraire rocheux, avec des falaises de quelques mètres à une dizaine de mètres de hauteur façonnées dans les grès calcaires de la dune ancienne du Karimbolien (dune du niveau marin ancien de + 3 mètres). L'estran, sur ces côtés, se limite à une plateforme à vasques sensiblement horizontale, large d'une dizaine de mètres en moyenne, située à peine au-dessus du niveau des basses mers moyennes (fig. 3). Cette plateforme est dominée d'un côté par la falaise rocheuse et de l'autre domine par un ressaut externe abrupt, presque entièrement immergé et contre lequel viennent battre les vagues, les fonds de plusieurs mètres.

La partie interne de la plateforme à vasques actuelle est creusée d'un grand nombre de cuvettes et de cupules, profondes de quelques

(2) Le terme de corrosion englobe les processus chimiques et biologiques d'attaque de la roche, alors que le terme de dissolution ne comprend que les processus chimiques.

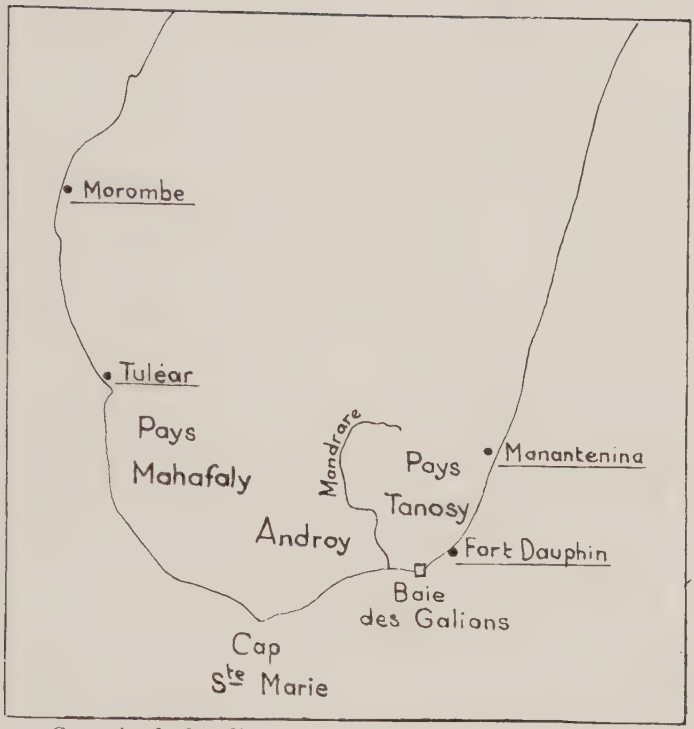



Fig. 1. — Croquis de localisation de la Baie des Galions dans l'extrême Sud de Madagascar.

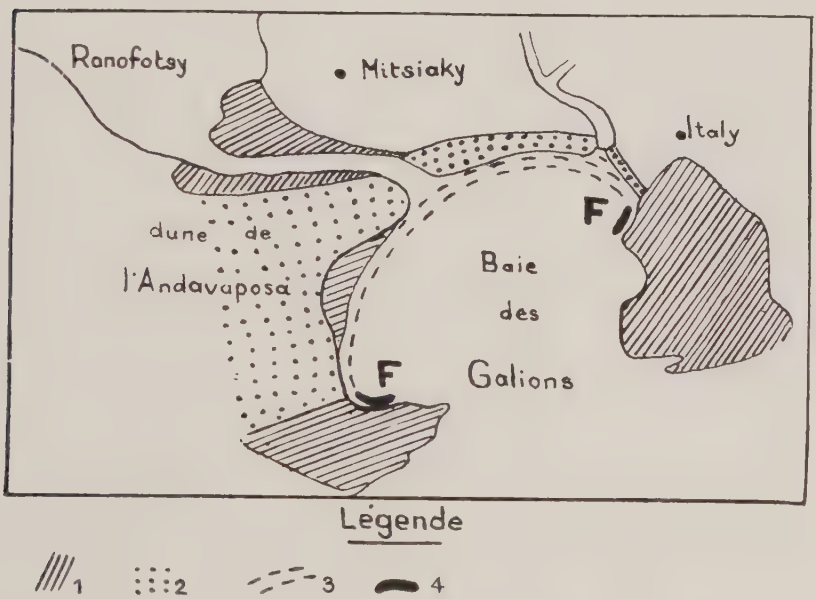



Fig. 2. — Croquis de localisation des témoins flandriens de la Baie des Galions. Echelle 1/50.000e environ. — 1 : dune grésifiée du Karimbolien ; 2 : sable de la dune actuelle ; 3 : Plage de sable de la Baie des Galions ; 4 : flandrien : dépôt de plage et encoches de corrosion fossiles.

centimètres à une vingtaine de centimètres, à rebords aigus, qui rendent la marche extrêmement difficile, et même impossible nus-pieds. On trouve dans ces cuvettes quelques rares galets, et beaucoup de débris de coquilles libres (huîtres, moules, et coquilles entières ou brisées de bénitiers).

L'étude de détail du pied de la falaise, particulièrement dans la partie orientale plus abritée de la baie, montre l'existence des éléments morphologiques suivants :

1° *Une encoche actuelle*, au pied de la falaise gréso-calcaire. Cette encoche se trouve sensiblement au niveau de la partie interne de la plateforme à vasques actuelle, soit entre 40 cm et 50 cm au-dessus du niveau des plus basses mers. L'encorbellement varie de quelques dizaines de centimètres à trois mètres selon les endroits.

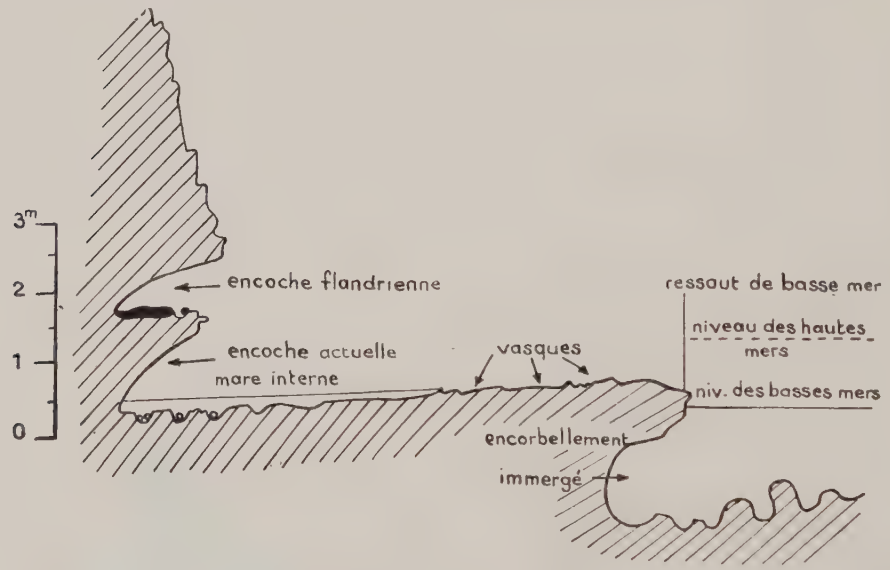



Fig. 3. — Disposition générale de l'estran dans la partie orientale de la Baie des Galions (près d'Ilaly). — *En hachures* : grès dunaires et marins d'âge karimbolien ; *en noir* : lumachelle flandrienne.

2° *Une encoche fossile*, située entre 1 m et 1,3 m au-dessus de l'encoche actuelle.

3° *Des témoins résiduels* de la plateforme à vasques fossile correspondant à l'encoche de 1-1,3 m. Ces témoins ont été préservés sur une largeur qui peut aller de quelques dizaines de centimètres à deux mètres. Ils se trouvent entre 80 cm et 1,3 m, au-dessus de la partie interne de la plateforme à vasques actuelle. Ils présentent une mor-

phologie de détail identique, avec des cuvettes et des cupules, que la corrosion tend par endroits à atténuer et à faire disparaître.

Ces irrégularités de détail de la plateforme à vasques actuelle et de la plateforme à vasques fossile rendent d'ailleurs illusoire toute mesure précise de la différence d'altitude entre l'une et l'autre. On peut cependant dire, sans risquer de déformer la réalité, que cette différence est habituellement de l'ordre de un mètre, ou légèrement davantage.

Dans les cuvettes fossiles de l'ancienne plateforme à vasques, on trouve fréquemment des galets et des débris coquilliers, non plus libres comme c'est le cas sur la plateforme à vasques actuelle. mais cimentés en une lumachelle. En un endroit on remarque, cimentée dans cette lumachelle, une valve entière d'un grand bénitier, et de nombreuses coquilles de grandes huîtres.

4° En plusieurs endroits il existe *une encoche intermédiaire* entre 40 cm et 60 cm au-dessus de l'encoche actuelle.

Les croquis cotés (fig. 4) montrent quelles sont les dispositions que peuvent prendre ces différents éléments morphologiques les uns par rapport aux autres.

Les formes fossiles, en particulier les témoins perchés de l'ancienne plateforme à vasques, tendent à disparaître par corrosion (découpage en lapiés aigus). Il existe un stade où, par suite de l'évolution de l'encoche actuelle, le visor actuel arrive à se confondre avec le visor fossile (fig. 5). On revient alors à une disposition normale, qui est le cas général partout où l'évolution littorale est suffisamment rapide, c'est-à-dire particulièrement le long des sections du littoral où les vents et la houle activent suffisamment les phénomènes de dissolution.

Il est certain que ces encoches superposées traduisent des stationnements de la mer à trois niveaux successifs de plus en plus bas, tout d'abord entre 1 m et 1,3 m, puis entre 40 et 60 cm au dessus du niveau marin actuel, enfin au niveau actuel.

L'explication par des variations du marnage n'est pas valable, étant donné la faible importance du marnage dans cette partie de Madagascar, et puisque l'encoche se trouve sensiblement au niveau de la mi-marée ; la configuration actuelle du littoral ne permet pas, d'autre part, de penser qu'il ait pu y avoir localement de telles variations à une époque récente.

La superposition des encoches a donc une origine eustatique ou tectonique.

On possède, pour plusieurs régions du globe, des précisions chiffrées concernant une morphologie du même type à encoches superposées.

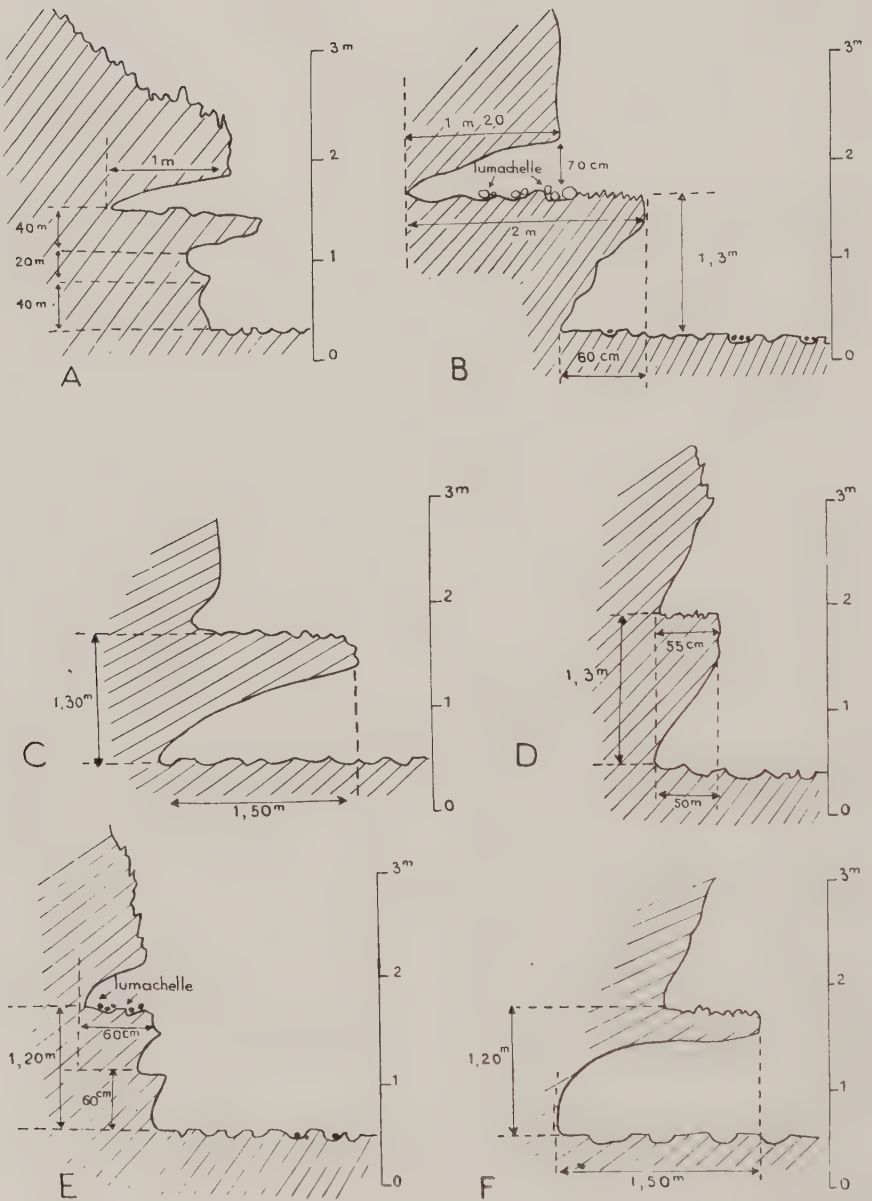



Fig. 4. — Différentes dispositions des encoches fossiles et actuelles dans la partie orientale de la Baie des Galions.

A Abulat, dans la Mer Rouge (A. GUILCHER, 1955) il existe deux niveaux d'encoches anciennes, respectivement entre 1,20 m et 1,40 m, et entre 2,40 m et 2,80 m au dessus du niveau des basses mers moyennes de grande marée. Aux îles Farsan (W. A. MACFADYEN, 1930) les deux niveaux d'encoches anciennes sont respectivement entre 1,35 m et 1,65 m et entre 2,85 m et 3,15 m au-dessus de la basse mer.

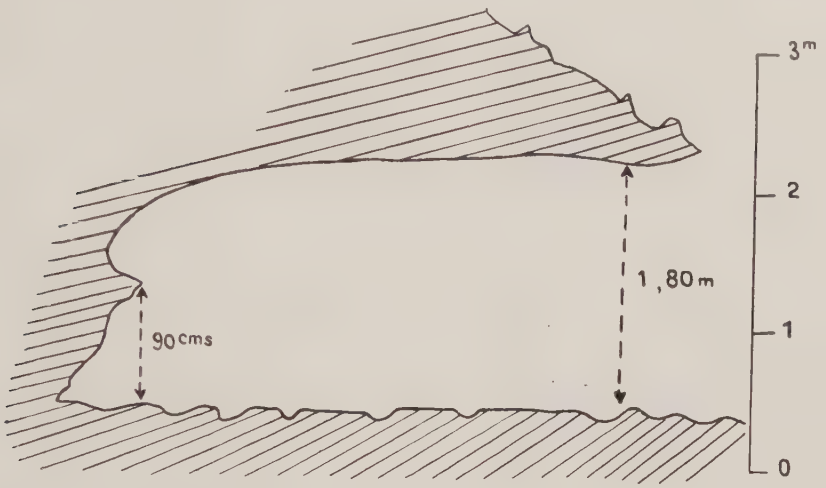



Fig. 5. — Stade ultime de la destruction des encoches flandriennes par développement de l'encoche actuelle.

En Australie Occidentale (Rh. FAIRBRIDGE, 1946-1947, 1947-1948, 1950) il y a trois niveaux d'encoches anciennes, entre 0,60 m et 0,90 m, entre 1,50 m et 1,80 m, et vers 3 mètres au-dessus des basses mers moyennes de grande marée. En Indonésie (Ph. KUENEN, 1933 et 1950) il y en a trois également, entre 0,50 m et 1 m, entre 1,50 et 2 m, enfin entre 4 m et 5 m.

Si on suppose qu'à la baie des Galions le marnage est le même qu'à Fort-Dauphin, le tableau comparatif avec les régions précédemment citées s'établit comme suit, en prenant comme niveau de référence le niveau des basses mers moyennes de grande marée dans chacun des lieux considérés :

| *Baie des Galions* | *Australie occidentale* | *Abulat* | *Iles Farsan* | *Indonésie* |
|---|---|---|---|---|
| — | — | — | — | — |
| | 3,00 | 2,40-2,80 | 2,85-3,15 | 4,00-5,00 |
| 1,40-1,70 | 1,50-1,80 | 1,20-1,40 | 1,35-1,65 | 1,50-2,00 |
| 0,80-1,00 | 0,60-0,90 | | | 0,50-1,00 |

On remarque la concordance presque parfaite d'altitude des deux encoches inférieures dans le Sud de Madagascar, en Australie occidentale et en Indonésie.

Il est très improbable que des mouvements tectoniques appréciables se soient manifestés au cours de l'Holocène dans l'extrême Sud de Madagascar. La plage de 3 mètres (Karimbolien), antérieure à la transgression flandrienne et au dernier pluvial (Lavanonien), n'est aucunement déformée sur plusieurs centaines de kilomètres de littoral (Battistini, 1957 *b*). On a donc tout lieu de croire que les variations tout à fait récentes du niveau marin que révèle l'existence des encoches anciennes superposées de la baie des Galions ont une origine purement eustatique. Il est vraisemblable qu'elles correspondent aux encoches signalées sensiblement à la même altitude en Australie occidentale (région aussi relativement stable au point de vue tectonique), et dans l'Indonésie orientale.

On connaît aussi en Europe occidentale un niveau « dunkerquien » de la transgression flandrienne supérieur de 1 à 2 mètres au niveau actuel de la mer, représenté par des dépôts de plage (P. Giot et A. Guilcher, 1946 ; A. Guilcher, 1948). D'après A. Guilcher ce maximum marin « dunkerquien » serait postérieur, dans la Bretagne du S. W., à la Tène II (250-100 ans av. J.-C.).

L'absence dans la baie des Galions d'une troisième encoche ancienne à une altitude supérieure à 2 mètres est plus difficilement explicable. Cette encoche a pu être détruite, dans cette partie de Madagascar, par l'évolution des encoches plus récentes. On peut penser aussi qu'elle est due, dans les régions où on l'a observée, à des mouvements tectoniques. Enfin, il est possible qu'il s'agisse dans ces régions non d'une encoche ancienne, comme le pensent les auteurs, mais d'une encoche actuelle correspondant à l' « encoche de haute mer » qui, sur certaines sections du littoral méridional de Madagascar, accompagne parfois la formation d'une « plateforme de haute mer » au niveau des plus hautes mers actuelles, ou légèrement au-dessus (Battistini, 1957 *a*).

Quoiqu'il en soit, il est impossible, pour le moment, de trancher d'une manière satisfaisante cette dernière question.

## BIBLIOGRAPHIE

(1) Battistini (R.), 1957 (*a*). — La zonation de l'estran dans les grès littoraux au Cap Mandevitse, près de Morombe. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, VIII, pp. 183-193.

(2) — 1957 (*b*). — Le niveau marin de 3 mètres et les séries dunaires de l'extrême Sud de Madagascar. — *Bull. Soc. Géol. France*, 6e Série, VII, p. 83 à 90.

(3) Crossland (C.), 1907-1915. — Report XVIII. A physical description of Khor Dongonab, Red Sea. — *J. linn. Soc., Zoology*, 31, pp. 265-286. 3 fig., 7 pl.

(4) Davis (WM.), 1928. — The coral reef problem. — *Amer, Geogr. Soc., Spec. Public.*, n° 9, New-York.

(5) Emery (K.O.), 1946. — Marine solution basins. — *J. Geol.*, 54.

(6) Fairbridge (Rh. W.), 1946-47 (1948). — Notes on the geomorphology of the Pelsart Group of the Houtman's Abrolhos Islands. — *J. roy. Soc. Western Australia*, 33.

(7) — 1947-48 (1950). — The geology and geomorphology of Point Peron, Western Australia. — *Ibid.*, 34.

(8) — 1950. — Recent and Pleistocene coral reefs of Australia. — *J. Geol.*, 58.

(9) Giot (P.R.) et Guilcher (A.), 1946. — Le Flandrien de la baie d'Audierne. — *C.R.S.S.G.F.*, pp. 256-258, et erratum p. 320.

(10) Gravier (Ch.), 1911. — Les récifs de coraux et les madréporaires de la Baie de Tadjourah (Golfe d'Aden). — *Ann. Inst. Océanogr.*, II, fasc. 3.

(11) Guilcher (A.), 1948. — Le relief de la Bretagne méridionale, de la baie de Douarnenez à la Vilaine. — *Thèse Faculté Lettres Paris.*

(12) — 1952. — Formes littorales de dissolution des calcaires : essai de distribution zonale sur le globe. — *Congr. Intern. Géogr.*, Washington.

(13) — 1953. — Essai sur la zonation et la distribution des formes littorales de dissolution du calcaire. — *Ann. Géogr.* (Paris), 62, pp. 161-179. 5 fig., 2 pl. h. t.

(14) — et Joly (F.), 1954. — Recherches sur la morphologie de la côte atlantique du Maroc. — *Trav. Inst. Scient. Chérifien*, Tanger, Série Géologie et Géographie physique, n° 2.

(15) — 1955. — Résultats scientifiques des campagnes de la « Calypso » : I, Campagne en Mer Rouge (1951-1952). — *Ann. Inst. Océan.* Paris t. 30.

(16) Kuenen (Ph.H.), 1929-30. — Geology of coral reefs. — The Snellius Expedition in the Eastern part of the Netherlands East Indies, 5, part. 2, Utrecht, 1933.

(17) — 1950. — Marine Geology, New-York, Wiley.

(18) Macfadyen (W.A.), 1950. — The undercutting of coral reef limestone on the coast of some islands in the Red Sea. — *Geogr. J.*, 75, p. 26-34.

(19) Panzer (W.), 1949. — Brandungshöhlen und Brandungskehlen. — Erdkunde, III, pp. 29-41.

(20) Teichert (C.), 1946. — Late quaternary changes of sea-level at Rottnest Island, Western Australia. — *Proc. roy. Soc. Victoria* (Melbourne), 59, part. 2 (new series), (1950).

MÉMOIRES DE L'INSTITUT SCIENTIFIQUE DE MADAGASCAR
Série F. — Tome II. — 1958

# MISE AU POINT SUR LA GEOMORPHOLOGIE DES RECIFS CORALLIENS DE MADAGASCAR ET DEPENDANCES

par

A. GUILCHER (*)

## Etat des connaissances

On ne parlera ici que des récifs inclus dans l'Union Française (Madagascar et dépendances), à l'exclusion de ceux faisant partie du Commonwealth britannique. La Réunion, quoique française, sera aussi exclue.

Les formes des récifs de cette partie de l'Océan Indien sont encore très insuffisamment étudiées. En 1902, E. Fichot a donné, dans un article d'ensemble sur les côtes de Madagascar, un certain nombre d'indications sur les récifs, reposant sur une connaissance personnelle, mais il s'agit là d'une étude de caractère très général. Beaucoup plus détaillés sont les articles de A. Voeltzkow ; ce voyageur allemand a publié, en 1904 et 1905, une série d'articles sur les récifs des Comores, de l'île Europa, et de plusieurs points des côtes de Madagascar (Tuléar et environs, île Sainte Marie et environs de Tamatave). A la même époque (1906), la thèse de P. Lemoine sur la géologie du Nord de Madagascar contient des précisions intéressantes sur les récifs émergés de cette région. Quelques indications sur ceux de la côte Ouest sont aussi à relever dans la thèse de E. F. Gautier (1902). Un très sérieux effort avait donc été fait au début du XX$^{e}$ siècle.

Malheureusement, cet effort ne fut pas poursuivi par la suite, et, pendant plus de quarante ans, on ne peut guère citer que quelques travaux, d'ailleurs utiles, sur des points de détail : ceux de H. Perrier de la Bathie en 1921 et de H. Poisson en 1923, sur certains récifs de la côte Ouest de Madagascar et du canal de Mozambique, et une étude inédite de M. C. Gence en 1937 sur des récifs de la côte NE.

(*) Professeur de Géographie à la Sorbonne.

Très récemment, la recherche récifale a connu un regain d'activité, avec quatre nouvelles visites à Europa de 1948 à 1952 par R. Paulian et P. Fourmanoir, une reconnaissance de l'île Tromelin (J. Lacarrieu et R. Paulian), et deux missions de A. Guilcher en 1954 et 1956 : la première, dont les résultats ont paru en 1956, a consisté en un inventaire d'ensemble des formes coralliennes du NW et du N de Madagascar entre Analalava et Diégo-Suarez ; les résultats de la seconde, qui a intéressé les récifs des îles Radama, et de la baie Ramanetaka dans la même région (fig. 4), paraissent dans le présent volume des *Mémoires de l'Institut de Recherche scientifique de Madagascar* (Guilcher et al., 1958).

La densité des renseignements est donc très inégale suivant les régions. Outre les travaux parus, on utilisera ici les données inédites qui ont été obligeamment communiquées par P. Fourmanoir pour les Comores, et par R. Battistini pour le SW et le S de Madagasar. Ces deux chercheurs dépendent de l'Institut de Recherche scientifique de Madagascar. On a également consulté les Instructions Nautiques et cartes marines du Service Hydrographique français. Les plus intéressantes de ces cartes seront citées ici sous l'indicatif : SH, suivi du numéro de la carte.

Des travaux prévus pour un proche avenir doivent porter sur les récifs de Mayotte, les îles Glorieuses et le banc du Geyser, entre Mayotte et le Nord de Madagascar (fig. 1). Les autres récifs qu'il serait le plus urgent d'étudier sont ceux de la côte Ouest de Madagascar. Les travaux sont facilités par les photographies aériennes de l'Institut Géographique National français, qui couvrent depuis quelques années le plus grand nombre des récifs.

## Conditions de croissance des récifs

*Conditions structurales.* — Il faut distinguer à ce sujet deux groupes de récifs :

a) ceux qui croissent sur le socle continental de Madagascar et qui, autant qu'on puisse le savoir, ne semblent pas avoir une grande épaisseur en général ;

b) les récifs océaniques, indépendants des socles continentaux malgache et africain : ceux des Comores (Grande Comore, Mohéli, Anjouan et Mayotte) se développent sur le bord d'îles volcaniques, comprenant trois phases d'émissions ; à Europa et à Bassas da India, dans le Sud du canal de Mozambique, le socle pré-corallien n'est pas connu ; le banc du Geyser et les îles Glorieuses, au NE de Mayotte, sont aussi très probablement des récifs océaniques indépendants du

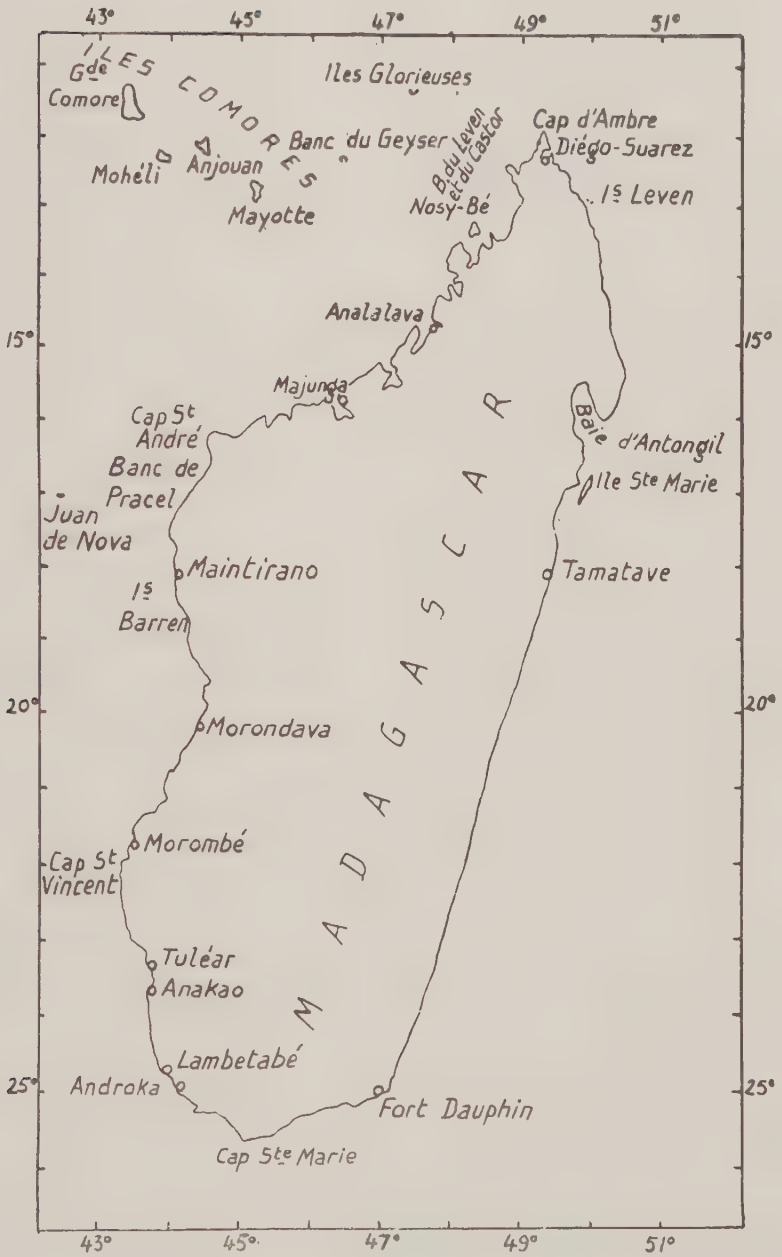



Fig. 1. — Carte de localisation.

socle de Madagascar ; l'île Tromelin, à l'ENE de Madagascar, l'est certainement.

*Température de l'eau.* — En février, Madagascar et le canal de Mozambique sont compris entre les isothermes de surface de 26° et de 28°, et les Comores dépassent légèrement le second vers l'équateur ; en août, la température de surface est partout incluse entre 21,5° au Sud et 24,5° au Nord. Les conditions thermiques sont donc excellentes au Nord, et, en principe, nettement favorables au Sud, puisque les coraux constructeurs demandent que la température ne descende jamais en-dessous de 18 à 20°.

*Marées.* — Les marées intéressent les formes récifales en ce sens que le sommet des récifs ne peut dépasser que légèrement le niveau des basses mers de vive eau. De type semi-diurne partout, la marée n'atteint que 1 m de marnage en vive eau à Tamatave, et est faible sur toute la côte orientale de Madagascar. Par contre, elle est relativement forte sur la côte occidentale (Majunga : 4,80 m en vive eau ; Tuléar : 3,30 m), intermédiaire à Diégo-Suarez (2,30 m), et forte aux Comores (Dzaoudzi, Mayotte : 4,20 m ; Anjouan : 4,30 m) et à Europa (3,40 m). Aux Comores, l'influence diurne devient assez sensible, et l'on tend à passer au type mixte.

*Turbidité.* — Les eaux sont claires en dehors des baies et abords d'estuaires et de deltas. Mais ces derniers sont nombreux sur la côte occidentale de Madagascar : deltas des deux Mahavavy, du Sambirano, de la Mahajamba, de la Betsiboka, du Manambolo, de la Tsiribihina, du Mangoky, etc. ; estuaires de la Loza, de l'Onilahy, de la Linta, etc. Or, la turbidité des rivières est grande lors de la saison des pluies (été austral). Il y a donc là des conditions en principe défavorables, et, devant les deltas, les récifs s'interrompent en général. Toutefois, l'étude des récifs de la côte NW a montré que le corail arrive à vivre et à construire même en certaines eaux très troubles : ainsi, devant l'estuaire de la Loza, près d'Analalava (fig. 4), et aussi dans les eaux vaseuses de la baie d'Ambavatoby (fig. 4). Les espèces qui parviennent à lutter contre l'envasement prennent souvent la forme classique de micro-atolls. La turbidité est donc une gêne, mais non pas un obstacle invincible.

*Houle.* — Ici comme ailleurs, la houle joue un rôle capital dans la détermination de la forme des récifs. On doit distinguer, à ce sujet, quatre secteurs.

a) La côte orientale de Madagascar. Cette côte est battue toute l'année par la houle de l'alizé austral, celui-ci venant d'entre E et SE (NE à Fort-Dauphin) ; la mer est généralement très agitée pendant l'hiver austral, et nettement plus calme dans le NE pendant l'été, ceci

en relation avec les fluctuations de l'alizé. Le vent a, de ce côté, une très longue course (fetch) sur la mer. Les déferlements sont particulièrement violents pendant l'hiver austral dans la région de Diégo-Suarez (houle ayant normalement 3 mètres de creux et souvent davantage, avec 92 % de vents de plus de 50 km/heure à 10 h. 30 GMT, ou 13 h. 30 heure locale, en septembre).

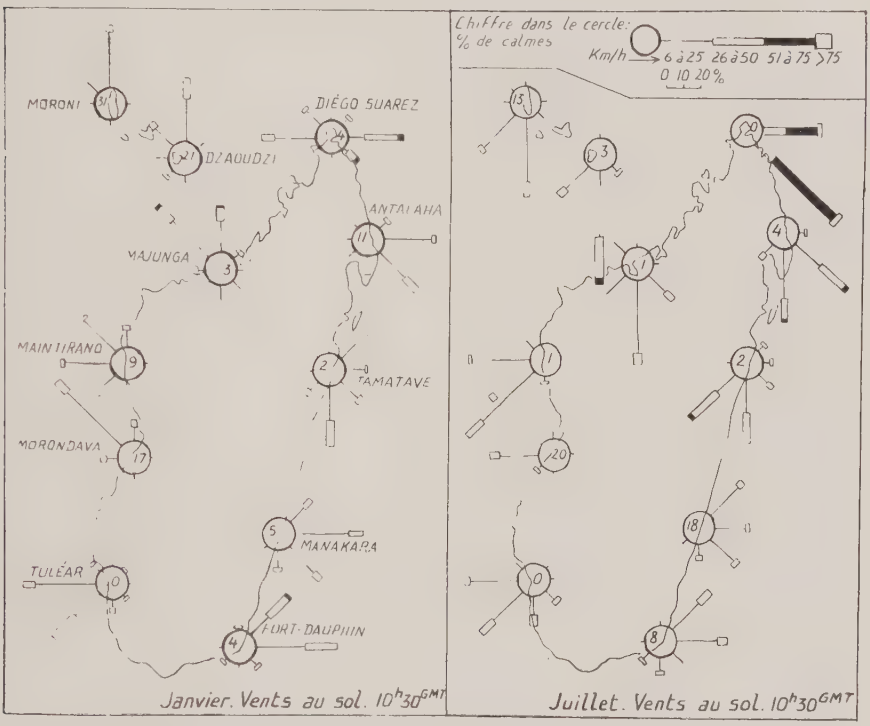



Fig. 2. — Les vents en janvier et juillet sur les côtes de Madagascar et aux Comores, d'après Ravet, Atlas climatologique de Madagascar (1948).

b) La côte Ouest, Sud-Ouest et Sud de Madagascar, au Sud du cap Saint André, et les îles du Sud du Canal de Mozambique (Europa, Bassas da India et Juan de Nova). Cette côte et ces îles reçoivent des houles de SW ou SSW, qui paraissent avoir deux origines : d'une part, les vents locaux, qui, dans le SW de Madagascar (Tuléar), soufflent en majorité du SW en toute saison ; d'autre part et peut-être surtout, les grands vents d'Ouest de l'Océan Austral : il s'agirait alors de houles d'origine lointaine. Il arrive d'ailleurs souvent que la mer soit très grosse sans que le vent local soit fort (analogie avec le Sud-Ouest Africain). Toute la côte SW est battue par des déferlements très fréquemment violents, qui gênent considérablement l'étude des récifs de cette région.

c) La côte Nord-Ouest de Madagascar, entre le cap Saint André et le cap d'Ambre, au contraire des deux secteurs précédents, n'est en général frappée que par des houles très modérées, qui viennent en moyenne du NNW. En effet, les houles des autres origines ont leur propagation empêchée ici par Madagascar elle-même. La houle modérée de NNW est engendrée en saison des pluies (été austral) par la mousson, qui, à ce moment, affecte entièrement les Comores et pénètre jusque dans le NW de Madagascar, alors traversée par la convergence intertropicale. En saison sèche, elle est plus ou moins entretenue par la brise de mer qui souffle l'après-midi dans la région côtière. Le vent normal de saison sèche est l'alizé du SE, modéré parce que la côte est sous le vent de Madagascar, sauf à l'extrémité Nord où il conserve une grande force ; mais il n'a qu'une course très courte sur la mer. Il n'a d'influence que sur les récifs qui ne sont pas immédiatement au bord de la côte.

d) Les Comores et l'île Tromelin sont également soumises à un régime de vents alternants : alizé du Sud en saison sèche (SE à Tromelin), mousson du NNW ou du Nord en saison des pluies. La différence avec le secteur précédent est que l'alizé a une bien plus longue course sur la mer.

Enfin, dans tout le domaine il peut y avoir occasionnellement de très fortes houles, engendrées par des cyclones tropicaux, dont les trajectoires moyennes, d'abord NE-SW, s'incurvent en principe vers le SE à mesure qu'ils s'élèvent en latitude. Les houles de cyclones tropicaux, bien qu'inhabituelles, ont les mêmes effets destructeurs que dans les autres régions coralliennes (« tête de nègre », ou negro-heads, sur les récifs, sauf ceux situés dans les baies abritées).

Les quatre secteurs de houle nous fourniront le cadre de la description des récifs. Nous aurons donc les ensembles suivants : les récifs des Comores et autres récifs océaniques de cette région ; ceux de la côte NW de Madagascar ; ceux de la côte W et SW, et du canal de Mozambique dans sa partie méridionale ; ceux de la côte E.

## Les récifs des Comores et autres récifs océaniques du NW et du NE de Madagascar

L'archipel volcanique jeune des Comores (Grande Comore, Mohéli, Anjouan et Mayotte) est séparé de l'Afrique et de Madagascar par des fonds de plus de 2000 m. La profondeur semble être du même ordre entre la Grande Comore et Anjouan ; elle paraît être beaucoup plus faible entre Mohéli, Anjouan et Mayotte (SH 1441) ; mais les connaissances bathymétriques de cette région sont très précaires.

1. *La Grande Comore, Mohéli et Anjouan.* — Pour les récifs de ces trois îles, la seule description publiée, celle de VOELTZKOW, contient extrêmement peu de chose, et la carte marine (SH 4805) est tout à fait rudimentaire. Les données qui suivent sont tirées des renseignements inédits que P. FOURMANOIR a bien voulu nous donner ; ce qui n'est pas de lui est entre parenthèses.

La Grande Comore, longue d'environ 36 milles marins et atteignant 2.400 m d'altitude au volcan Karthala qui est encore en activité, n'a qu'un récif frangeant discontinu, manquant sur presque la moitié du littoral. Le récif est surtout développé à Mitsamiouli (NW), Hentzinzi (NE), Shendini (SE) et Mbachile (SW), avec une largeur de 1.000 à 1.800 m. A Hentzinzi, on a un récif à crête externe, et vastes prairies d'herbiers à l'intérieur. Les pentes sous-marines externes des récifs semblent très fortes (sauf à Mitsamiouli et à Shendini d'après SH 4805. D'autre part, à 12 milles dans l'Ouest de Mbachile se trouve le récif Vailheu, entouré de tous côtés par de grandes profondeurs, qui ne découvre que très partiellement, et de très peu, en très grande marée, d'après les Instructions Nautiques).

Mohéli, qui culmine à 810 m ou 900 m selon les cartes, diffère des autres en ce qu'elle est bordée partout par une plate-forme sous-marine peu profonde, large de 5 à 8 milles marins. La côte Sud est bordée par de petites îles, volcaniques également, et incluses sur la plate-forme sous-marine de Mohéli. Le récif, de type frangeant, est partout bien développé, avec une largeur de 600 à 2.000 m, maxima dans le SW. Ce récif est peu battu parce que la houle du large est amortie au Sud par les petites îles, et ailleurs par les petits fonds en avant. Ces petits fonds portent eux-mêmes des coraux.

Anjouan, qui atteint 1.600 m d'altitude, a des récifs frangeants sur les deux tiers de son pourtour ; ils sont généralement de faible largeur : 300 m, mais devant les pointes Nord et Sud, très exposées à la houle, ils atteignent 700 m ; et sur la côte SW, de la pointe Ouest à Vassy, le récif a près de 3.000 m, et la bordure externe est séparée de terre par un chenal d'embarcations (boat channel) à fond sableux couverts d'herbiers, asséchant en grande marée, mais utilisé par les boutres à haute mer. Plus à l'Est, la forme est la même, mais le récif se rétrécit. Partout, la pente sous-marine est rapide, les fonds de 200 m étant atteints à 1 ou 2 km du rivage.

2. *Mayotte* (fig. 3). — Cette île, longue environ de 40 km et culminant à 660 m, est la plus intéressante des Comores du point de vue récifal ; elle bénéficie d'une carte bien meilleure que les autres îles (SH 1.046) ; la description de VOELTZKOW se limite aux abords de l'île annexe de Pamanzi, mais elle est précise ; pour le reste, nous utilisons les renseignements inédits de FOURMANOIR.

L'originalité de Mayotte vient de ce qu'elle est entourée par un beau récif-barrière, très continu au Nord, à l'Est et au Sud, et plus fragmenté à l'Ouest et au SE. Ce récif-barrière se trouve à une distance moyenne de 8 km de l'île. Il atteint 2.400 m de large au Nord ; au Sud, il ne dépasse pas 400 m en certains endroits. L'ensemble du récif est un peu en-dessous du niveau des plus basses mers, mais certaines parties arrivent à émerger, notamment le NE qui a été visité par VOELTZKOW, et qui comporte des herbiers sur sable, et des coraux vivants, également sur fond meuble. La chute est brutale sur le bord externe, sauf dans le NW où l'on a des fonds de moins de 80 m vers Anjouan ; dans le SE, on atteint 200 m de profondeur à 150 m du récif.

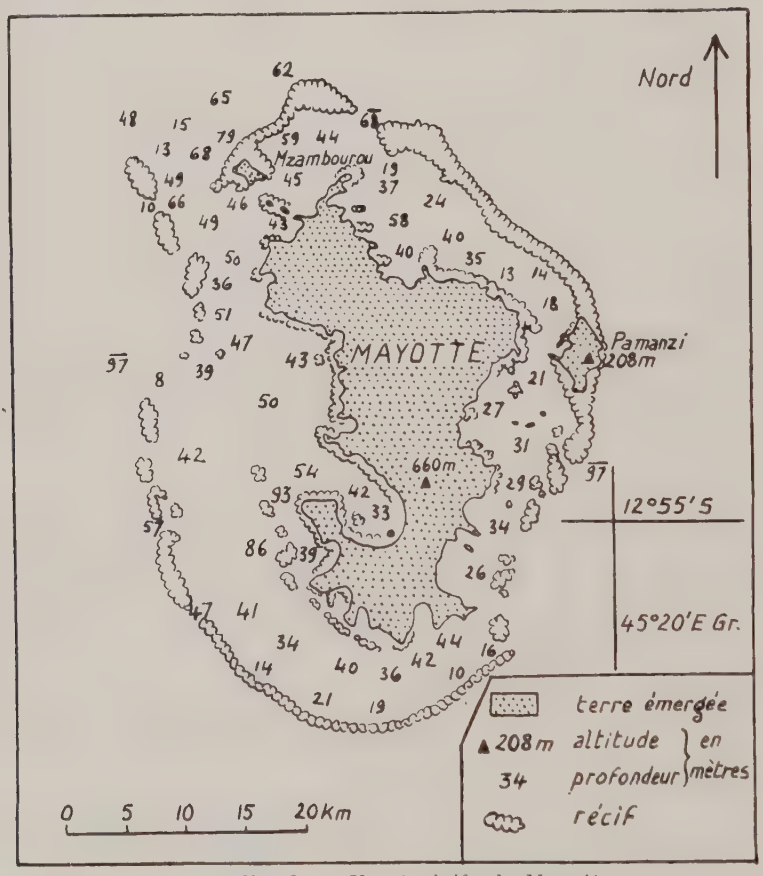



Fig. 3. — Ile et récifs de Mayotte.

Le lagon a une profondeur moyenne de 30 à 50 m, et le maximum sondé y est de 93 m. La partie WSW semble la plus profonde. Plusieurs passes ont plus de 50 m, et le courant de marée y est fort.

La vie corallienne est plus riche sur les récifs frangeants des rivages de Mayotte (côtes à mangroves exceptées) et les îles du lagon, que sur le récif-barrière et des pinacles du corail montent du fond vaseux, sableux ou graveleux du lagon jusqu'à la surface.

On est tenté d'expliquer le récif-barrière de Mayotte par un affaissement, qui ne serait pas survenu aux trois autres Comores. Ce serait en accord avec le fait que la côte a une topographie d'ennoiement (embayed shoreline de DAVIS), qui n'est pas ou est faiblement réalisée aux autres Comores. Mais il y a à cette explication une difficulté : le récif-barrière s'appuie directement à deux îles volcaniques, Pamanzi à l'Est et Mzambourou au NW : à ces endroits, il est frangeant autour de ces îles. En outre, d'après VOELTZKOW, les roches volcaniques de Pamanzi sont revêtues de corail fossile, qui semble donc témoigner d'une émersion, au moins à cet endroit. L'idée de VOELTZKOW, selon laquelle la barrière reposerait sur les bords d'une gigantesque caldera, ne nous semble pas acceptable. Emersion et submersion peuvent fort bien s'être succédées, mais le problème des îles volcaniques enclavées dans le récif-barrière reste posé.

Enfin, d'après la carte SH 1046, Mayotte paraît comporter dans le SW une *double barrière*, la seconde barrière étant à 2 km de terre en moyenne, avec des fonds aussi considérables en dedans qu'en dehors. Or, le phénomène de la double barrière est extrêmement rare dans le monde, le seul cas connu de KUENEN (*J. Geology*, t. 59, 1951, p. 503-507) étant celui de Viti Levu dans les Fiji.

Ces raisons expliquent pourquoi Mayotte a été choisie pour une prochaine mission d'études coralliennes.

3. *Les îles Glorieuses et les bancs du Geyser, du Leven et du Castor.* — L'étude morphologique de ces récifs reste à faire. Seules les îles Glorieuses (SH 4769 ; 11° 30'S, 47° 22'E) sont habitables et habitées. C'est un récif en fer à cheval, ouvert au NNE, avec deux îles basses dans le SW et le NE, et un lagon d'une quinzaine de mètres de profondeur. Il n'y a pas du tout de récif construit face à l'ouverture du fer à cheval, et les relations des formes avec la houle n'apparaissent pas bien en première analyse.

Le banc du Geyser, de position mal déterminée (SH 1441 ; environ 12° 20' S, 46° 30' E) est lui aussi en fer à cheval, mais il s'ouvre au SE. La partie SW assèche partiellement à basse mer. Plusieurs récifs encore plus mal reconnus existent un peu dans l'Ouest.

Les bancs du Leven et du Castor, beaucoup plus vastes, sont situés entre le précédent et la pointe Nord de Madagascar (SH 1441). Ils sont nettement plus profonds (partout au moins 13 m d'eau à grande basse mer, d'après la carte), et la profondeur entre eux et Madagascar n'est pas définie, de sorte qu'on ne sait s'il faut les considérer comme océaniques.

4. *L'île Tromelin* (SH 4769). — Cet îlot (1560 m de long, du NW au SE ; forme ovale) a été examiné récemment (Lacarrieu et Paulian), pour y installer une station météorologique dont le but est d'annoncer les cyclones affectant Madagascar. Complètement isolé par 15° 53' S, 54° 30' E, au milieu de fonds de plus de 4.000 m entre le NE de Madagascar et l'arc Seychelles - Cargados Carajos - Maurice, il peut être défini comme une caye insubmersible de blocs de corail et de sable, avec rempart périphérique grossier accumulé par les vagues autour d'une dépression centrale sèche. Une queue de sable fin existe en novembre dans le NW, sous le vent de l'alizé, mais peut-être, dit la carte marine, se déplace-t-elle vers le SE pendant la mousson de NW, auquel cas ce serait une caye à orientations alternantes, comme certaines de celles des archipels de l'Asie du SE. Le récif vivant l'entoure à quelques centaines de mètres de distance ; le déferlement y est violent, ce qui est normal.

## Les récifs de la côte Nord-Ouest de Madagascar, du cap d'Ambre au cap Saint-André

1. *Les récifs anciens émergés* (fig. 4). — La côte NW du petit massif volcanique tertiaire du Bobaomby, au Nord de la rade de Diégo-Suarez, porte un récif ancien émergé qui va en s'élargissant du NE au SW, depuis le cap d'Ambre jusqu'au cap Vohilava, où il est recoupé par la mer ; des éléments en existent dans de petites îles au SW du cap Vohilava, la dernière étant Nosy Vaha. C'est un ancien récif frangeant, avec chenal d'embarcations (boat channel) qui se marque aujourd'hui par une ligne de lagunes. L'altitude du corail émergé ne dépasse, ni même sans doute n'atteint, 10 m d'altitude. Au SW du cap Vohilava, les fragments situés dans les îlots peuvent être qualifiés de récif-barrière émergé. D'après leur état de conservation, ces récifs doivent être quaternaires ; on ne peut dire si leur émersion est d'origine eustatique, tectonique ou mixte, mais seulement qu'ils doivent être antérieurs à la régression préflandrienne. A des altitudes plus fortes (jusqu'à 60 m), existent, sur les flancs du Bobaomby, des restes de récifs, vus par J. de Saint-Ours, mais leur âge et leur position stratigraphique ne sont pas bien connus et ils demandent de nouvelles études.

En dehors de cette région du Bobaomby, on ne connaît pas jusqu'ici d'autres récifs aussi fortement émergés sur la côte NW de Madagascar ; toutefois, à Nosy Langna devant Analalava (fig. 4), existe un platier de corail mort à environ 1,50 m au-dessus du niveau actuel de croissance du corail ; et, en divers endroits de l'archipel des

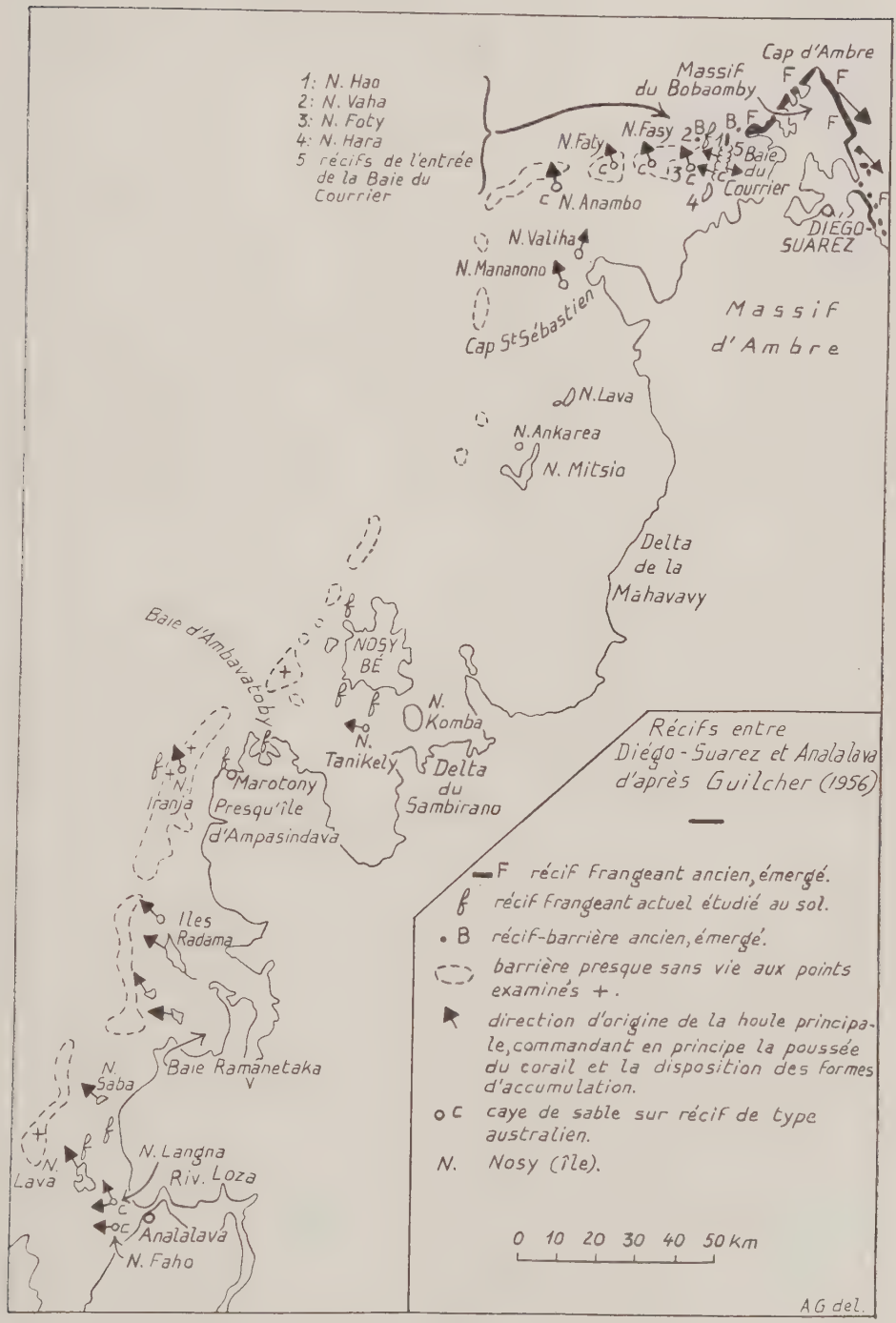



Fig. 4. — Récifs entre Diégo-Suarez et Analalava, d'après Guilcher (1956).

îles Radama, nous avons aussi remarqué en 1956 des platiers de corail mort dont le niveau est de plusieurs décimètres au-dessus des parties les plus hautes du récif actuel. Cela, joint à l'existence d'encoches de corrosion surélevées, serait, semble-t-il, la trace du niveau récent (post-glaciaire) qui a été signalé en maintes autres régions coralliennes. Nous rencontrerons plus loin des restes analogues en d'autres régions des côtes malgaches.

2. *Les récifs frangeants actuels le long de Madagascar et de Nosy Bé.* — Ce type existe un peu partout, sauf devant les deltas, et y compris en avant et autour des récifs anciens émergés qui viennent d'être décrits. On les trouve, non seulement sur la côte extérieure, mais même en certaines baies comme, par exemple, la baie d'Ambavatoby (fig. 4) ; et, sur plus de la moitié du développement de la côte, entre Analalava et le cap Saint-André, c'est presque le seul type qui soit bien représenté. Des exemples ont été décrits, avec figures, dans Guilcher, 1956. On peut citer notamment le récif de Marotony dans la presqu'île d'Ampasindava (fig. 5). La zonation générale comporte, de

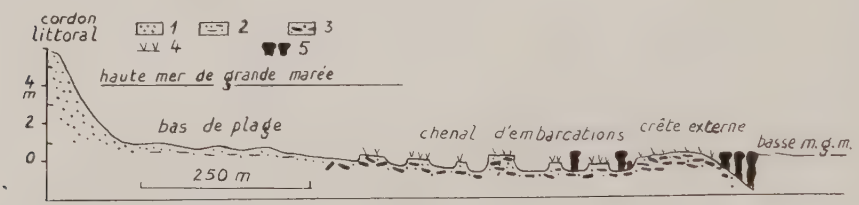



Fig. 5. — Récif frangeant de Marotony (côte Nord-Ouest de Madagascar), d'après Guilcher, 1956. — 1 : sable ; 2 : sable vaseux ou vase ; 3 : petits blocs détritiques et gravier ; 4 : herbier ; 5 : coraux vivants.

la mer vers la terre : le bioherme (récif vivant) ; une crête externe détritique, émergeant à basse mer de vive eau, avec têtes de nègre lorsque le récif est suffisamment battu ; une dépression interne très peu profonde (chenal d'embarcations), où il ne reste que quelques décimètres d'eau à grande basse mer, et qui est occupée par des prairies de Cymodocées et quelques colonies éparses dans de petites mares ; une plage de sable, parfois remplacée par une succession de crêtes de plage et de sillons à mangrove intercalaires. La largeur, très variable, peut dépasser 1000 m ; les récifs sont surtout développés face à la houle, c'est à dire entre l'Ouest et le Nord. On n'a pas signalé jusqu'ici de très grosses têtes de nègre, mais seulement des blocs n'atteignant guère un mètre, ce qui est normal vu la modération de la houle. Quand le récif est très abrité (baies), la crête externe détritique peut faire presque totalement défaut.

3. *Les récifs frangeant actuels autour de petites îles montagneuses non coralliennes.* — Ce type est assez abondamment représenté entre Analalava et le cap d'Ambre (fig. 4), parce que les îles pré-coralliennes sont nombreuses dans cette région (îles en grande majorité volcaniques). Au SW d'Analalava, on ne peut citer, par contre, que Nosy Makamby (45 km à l'Ouest de Majunga), formée de Miocène sédimentaire, qui est en voie de rattachement à la terre par la progression du delta de la Mahavavy du Sud, mais qui comporte un récif sur sa face externe. Toutes ces îles, au relief accidenté, s'élèvent à partir de fonds sableux ou vaseux où la profondeur ne dépasse pas 15 à 40 m, et qui constituent un large lagon en arrière d'une barrière extérieure (voir plus loin pour cette barrière).

Nous citerons, comme exemple du type, Nosy Iranja près de la presqu'île d'Ampasindava (fig. 6). Cette île comporte un récif développé

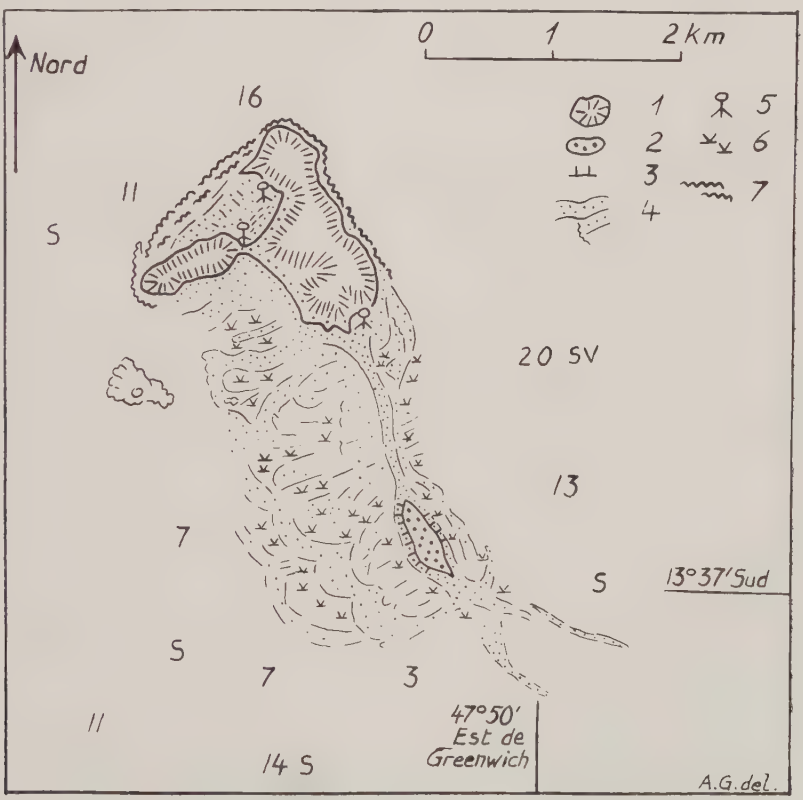



Fig. 6. — Nosy Iranja (côte Nord-Ouest de Madagascar), d'après Guilcher, 1956. — 1 : terre émergée rocheuse ; 2 : caye ; 3 : grès de plage (beach-rock) de la caye, attaqué et brisé ; 4 : sable en traînées ; 5 : mangrove ; 6 : herbier ; 7 : récif vivant.

face au NW, c'est à dire face à la houle dominante, et deux accumulations détritiques : l'une au vent, immédiatement derrière le récif, et une autre sous le vent, constituant une « queue » de sable dans la zone d'abri ; une partie de la queue, formant une caye insubmersible, est en grande partie consolidée en beach-rock. Cette dualité des accumulations est bien représentée également aux quatre îles Radama (SH 4379). La direction de croissance maxima du récif peut être modifiée quand la direction de la houle est perturbée par un haut fond ou une autre île en avant. En certains cas, comme à Nosy Tanikely près de Nosy Bé, la plage au vent est très peu développée ; en d'autres cas, comme à Nosy Valiha et à Nosy Mananono près du cap Saint Sébastien (SH 4451), la queue de sable sous le vent fait défaut. Dans la partie au vent, la zonation de la mer vers la terre est analogue à celle des récifs frangeants le long de Madagascar caractérisés plus haut, avec quelques variantes de détail. Le chenal d'embarcations très peu profond existe à peu près toujours.

Par exception, certaines îles, comme Nosy Mitsio au NE de Nosy Bé, n'ont pas de récif bien développé face au NNW. Nous présumons que ceci est dû à la forte pente du socle pré-corallien de ce côté : le récif n'a pas encore pu constituer, sur une telle pente, un large platier. L'anomalie proviendrait donc de ce que les récifs de cette région seraient des récifs très jeunes, où l'adaptation aux forces formatrices n'a pu encore se réaliser.

4. *Les récifs isolés à caye de sable (type australien).* — D'autres îles coralliennes n'ont pas de socle montagneux pré-corallien en affleurement. Un très bon exemple est Nosy Foty près de la baie du Courrier (fig. 7 ; SH 5346). De l'extérieur vers l'intérieur, on a : le récif vivant, face au NNW ; la crête externe, avec têtes de nègre, face à l'W et au NW ; un lagon très peu profond (quelques décimètres à grande basse mer) ; une caye de sable avec bancs de beach-rock, reportée dans la partie SE du lagon . La dissymétrie de l'édifice est évidemment liée aux forces formatrices : la caye de sable sous le vent est l'équivalent de la queue détritique du type précédent. Ces récifs sont du même type que ceux qui ont été décrits sur divers socles continentaux (Grande Barrière du Queensland, Mer Rouge, Indonésie). Ils s'élèvent à partir de profondeurs modérées, comme ceux du type précédent (15 à 40 m). Ils se trouvent près de Nosy Foty (Anambo, Fasy, Faty : SH 4451) et près d'Analalava (Langna, Faho : SH 4858). A Fasy et Faty, la caye est encore embryonnaire, et ne découvre qu'à basse mer ; ailleurs, elle porte de la végétation terrestre. Nosy Langna est une forme de transition, car le socle pré-corallien (crétacé) y affleure au ras du platier du récif, mais sans constituer de relief à l'inverse du type précédent.

A l'entrée de la baie du Courrier (fig. 4) existent d'autres récifs du même type ; mais seules leurs parties extérieures sont construites face à la houle du large comme Nosy Foty ; les parties faisant face à la baie du Courrier sont construites en fonction de la houle d'alizé formée dans cette baie. Il y a donc deux rangées de récifs qui se tournent le dos (SH 5346).

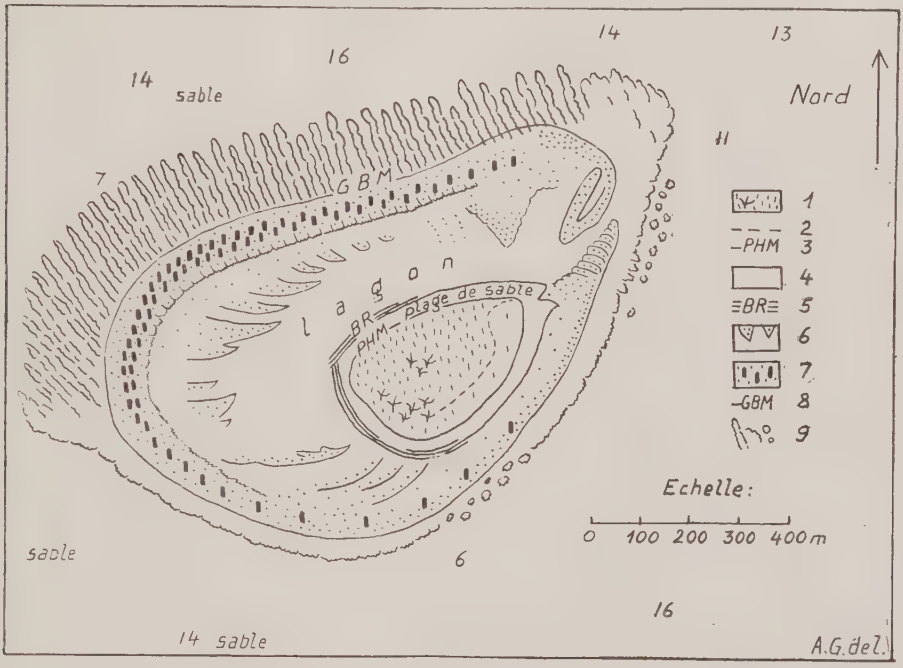



Fig. 7. — Nosy Foty (devant la côte Nord-Ouest de Madagascar), d'après Guilcher, 1956. — 1 : caye avec herbe et buissons ; 2 : sillon dans la caye ; 3 : ligne des plus hautes mers ; 4 : plage de sable et gravier ; 5 : beach-rock ; 6 : lagon avec stries de matériaux détritiques ; 7 : crête externe avec têtes de nègre ; 8 : ligne des grandes basses mers ; 9 : récif vivant (bioherme).

Un fait général dans les différents types est l'existence d'une disposition rainurée du corail vivant sur la bordure externe : le corail forme de longues trainées perpendiculaires aux crêtes de houle, et séparées par des couloirs (fig. 7). Cette disposition existe aussi en maints récifs du Pacifique, où les auteurs ont beaucoup discuté sur sa signification exacte, bien qu'ils y voient tous, avec raison, une liaison avec la houle ; mais on n'est pas d'accord sur le point de savoir si c'est une forme de construction ou une forme d'érosion.

5. *Les récifs frangeants à petits lagons mutiples de la baie Ramanetaka.* — Ce type, très curieux et tout à fait particulier, est décrit dans

le présent volume (GUILCHER et al., 1958). Il est localisé dans une baie (fig. 4) où la vie corallienne est probablement la plus florissante de toutes les côtes malgaches, par suite, semble-t-il, d'un bon renouvellement de l'eau par les courants de marée, de l'absence d'apports vaseux importants, et de la protection contre la houle qui, ailleurs, brise les ramures de corail. L'activité de la construction n'est pas compensée par l'activité de la destruction, de sorte que le corail pousse rapidement en longs bras dans la direction de l'entrée de la baie. Certains de ces bras, en se rejoignant, arrivent à enclaver des parties du fond, ce qui détermine l'individualisation de multiples lagons de quelques mètres de profondeur. Divers stades de l'enclavement peuvent être observés. Il est très fréquent dans cette baie d'observer des bordures et couronnes de récifs vivantes à 100 %, ce qui est fort rare à Madagascar.

6. *La barrière immergée* (SH 1441, 5339, 4852). — Le grand lagon à fond sableux ou vaseux, dans lequel se trouvent la plupart des récifs des types 3 et 4, est séparé du canal de Mozambique par un bourrelet externe, dont la profondeur n'est que de 4 à 12 m, donc nettement moins que celle du lagon (fig. 4). Cette barrière, située à une distance de 10 à 60 km de la côte, n'est interrompue que par quelques larges et profondes passes semblant correspondre au prolongement des grandes rivières de Madagascar ; dans le Nord, elle se rattache à Madagascar au Cap Vohilava (pointe SW du Bobaomby), et porte, de ce côté, quelques récifs en affleurement ; mais, au Sud de Nosy Anambo, en aucun point il n'y vient plus en affleurement de récif construit à partir du fond, bien que la barrière se prolonge jusque devant le Cap Saint-André et même au-delà (voir plus loin). Là où elle a été étudiée, la barrière immergée est constituée essentiellement de sable ; elle porte des têtes de corail, mais en quantité généralement faible, même sur son bord externe. Ce n'est donc pas un récif-barrière ordinaire. Son origine, qui n'est peut-être pas corallienne, n'est pas encore élucidée. A partir d'elle, les fonds descendent rapidement vers le canal de Mozambique : on doit donc la considérer comme formant le bord de la plate-forme continentale.

## Les récifs de la cote Ouest, Sud-Ouest et Sud de Madagascar et de la partie Sud du Canal de Mozambique

Sur cette vaste étendue, il semble qu'on puisse provisoirement, malgré l'état très précaire des connaissances, distinguer quatre ensembles, où les formes coralliennes n'ont pas les mêmes caractères :

de 16° à 21° 40' S, des récifs discontinus et individualisés en mer sur une assez large plate-forme continentale ; de 21° 40' à 23° 30', un récif-barrière proche de la côte ; dans le Sud, des récifs frangeants discontinus ; enfin, les récifs océaniques d'Europa et de Bassas da India.

1. *Les récifs individualisés sur la plate-forme continentale, de 16° à 21° 40 Sud.*

a) Devant le large et très bas promontoire du cap Saint-André, la plate-forme continentale de l'Ouest malgache atteint sa plus grande largeur (une centaine de kilomètres). Là s'étend, entre 16° et 17° 40' Sud, le *banc de Pracel*, dont la largeur va en diminuant vers le Sud, et où les profondeurs, irrégulières et assez mal connues, semblent partout inférieures à 75 mètres (SH 5506). Les haut-fonds dangereux pour la navigation y sont nombreux, et sont de nature récifale. Le banc porte deux îlots émergés : Chesterfield au Nord, Nosy Vao au Sud. Tous deux sont coralliens. Le premier, approché de près par Perrier de la Bathie, mais sans débarquement, est un îlot de sable avec une partie rocheuse noirâtre (beach-rock ?), situé dans le NE d'un récif en croissant convexe du côté de la houle dominante (c'est-à-dire au SW). A Nosy Vao, l'îlot, bordé d'une plage de sable, est également dans le NE du récif qui le supporte, c'est-à-dire dans la position attendue pour une houle de SW.

Le banc de Pracel est limité sur son bord externe par un relèvement du fond, qui continue directement la barrière immergée devant la côte NW de Madagascar, avec une profondeur un peu plus grande (15 à 50 m) ; cette barrière se poursuit au Sud devant les îles Barren, avec des profondeurs à nouveau plus faibles (5 à 20 m). De là, on descend très rapidement, vers l'extérieur, à des profondeurs de 200 m et davantage, d'ailleurs fort mal connues.

b) Mais avant, semble-t-il, d'atteindre les profondeurs de plus de 1000 m, se trouve l'île assez importante de *Juan de Nova*, ou Saint-Christophe (fig. 8), de nature corallienne : en première analyse, la position de cette île est très comparable à celle des récifs extérieurs de la plate-forme de Sahul (côte NW de l'Australie), situés eux aussi en-dehors d'un gradin supérieur se terminant vers 100 brasses, mais en-dedans ou sur le bord d'un gradin inférieur finissant vers 300 brasses, (Teichert et Fairbridge, *Geogr. Review*, t. 38, 1948, p. 222-249) : si les sondages ultérieurs confirment cette assimilation, Juan de Nova n'est pas un récif océanique, mais un récif de la partie externe de la « marge continentale ».

Juan de Nova a été étudiée par Perrier de la Bathie, et il en existe d'excellentes photographies aériennes verticales récentes de l'Ins-

titut Géographique National. Le récif présente une courbure très régulièrement convexe face au SSW, côté battu par la houle, et la pente sous-marine y est rapide et longue ; le côté opposé, abrité, a un tracé

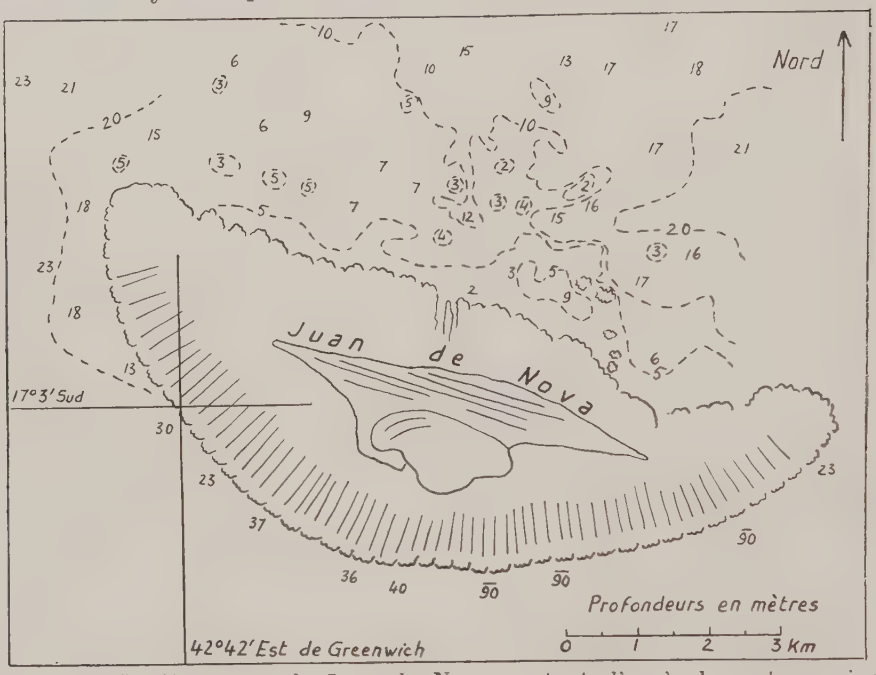



Fig. 8. — Récif et caye de Juan de Nova, surtout d'après la carte marine française 5846.

plus irrégulier, avec des pâtés de corail épars s'élevant de profondeurs sableuses de quelques mètres seulement. Le platier corallien présente des stries radiales du côté SSW. L'île, qui est une grande caye, inclut des blocs grossiers de corail au SSW, et, au NNE, des sédiments plus fins, avec nombreuses crêtes parallèles (rivages successifs) WNW-ESE. D'abondants dépôts de guano, qui ont donné lieu à une exploitation, se sont accumulés dans les dépressions entre crêtes. Certaines parties sont consolidées en grès calcaire. L'altitude atteint jusqu'à 12 m. D'après Perrier de la Bathie et Fourmanoir, il y a des preuves d'une légère émersion récente.

Dès le banc de Pracel et Juan de Nova, l'orientation des édifices coralliens est donc foncièrement différente de ce qu'elle est sur la côte NW.

c) L'archipel des *îles Barren*, situé entre 18° et 18° 40' S, comprend un grand nombre de récifs à fleur d'eau, et plusieurs îlots (SH 5461) ; sa largeur est moins grande que celle du banc Pracel qu'il

prolonge (45 km), mais la densité des récifs en affleurement y est plus grande. Perrier de la Bathie a décrit sommairement trois des îlots de la partie Sud, dans lesquels il a débarqué. On y retrouve l'opposition NE-SW notée précédemment : altitude plus forte au SW, c'est-à-dire du côté battu, avec de gros blocs de corail parfois cimentés et des dunes ; sédiments plus fins sous le vent ; les îles (cayes) sont localisées dans la partie NE des récifs, de même que les autres cayes de l'archipel d'après la carte marine.

d. Audelà vers le Sud, il semble y avoir, jusqu'à Morombé (21° 40' S), une barrière discontinue, interrompue devant les deltas, et dont émergent des récifs individualisés ; les récifs portent quelques cayes de sable vers 21° S. On manque de données morphologiques sûres sur cette vaste étendue de plus de 300 kilomètres de long.

2. *Le récif-barrière de Morombé à Anakao près de Tuléar.*

Sur cette section, qui mesure à peu près 220 km de long (21° 40' à 23° 30'), la morphologie récifale est très sensiblement différente. La côte est bordée par un récif-barrière beaucoup moins discontinu qu'immédiatement plus au Nord, et beaucoup plus proche de la côte (2 à 7 km). Mais le chenal entre le récif et la côte est assez profond pour que les goëlettes puissent y circuler ; et, dans ses parties Nord et Sud, c'est-à-dire entre Morombé et 22° Sud, et aux environs de Tuléar, il a toujours au moins 6 à 8 m de profondeur, et on atteint parfois plus de 30. Le récif n'est donc pas un récif-frangeant à chenal d'embarcation, mais un vrai récif-barrière. Les eaux sont calmes et claires dans le chenal.

Des observations morphologiques ont été faites aux deux extrémités de cette section : d'une part aux abords de Morombé, par Perrier de la Bathie, et par Battistini (pour le second, renseignements inédits) ; d'autre part, aux abords de Tuléar, par Voeltzkow, et par Battistini (idem). L'exploration détaillée de la partie intermédiaire (c'est-à-dire les neuf dixièmes de la section) reste à faire, mais dès maintenant certains caractères se dégagent.

Les récifs-barrières de Morombé et de Tuléar, interrompus par des passes, sont décrits par Voeltzkow et par Battistini comme étant peu vivants. Sur la pente externe, et sur la pente interne qui est moins raide, on trouve un certain nombre de colonies, mais l'impression générale est celle de la pauvreté. A Nosy Bé, appelée aussi Nosy Vato (fig. 9), et située devant Morombé au NW de cette localité (Battistini), la bordure externe du platier mort est rainurée par des sillons perpendiculaires à la bordure, longs d'une cinquantaine de mètres, profonds de

2 à 4 m à l'extérieur et se relevant vers l'intérieur ; de petites colonies sont localisées dans ces rainures, et sur la face externe du récif.

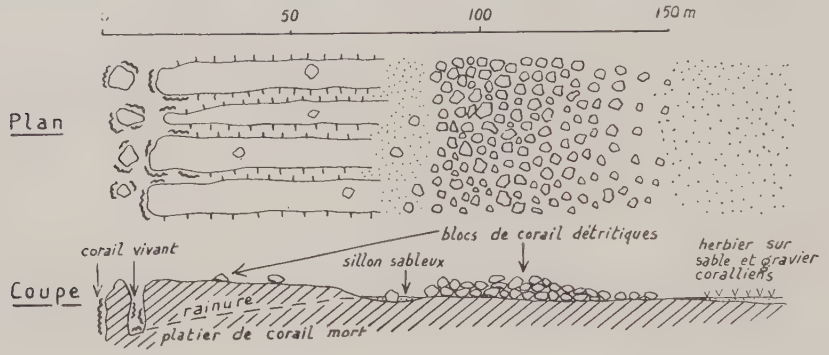



Fig. 9. — Plan et coupe de la bordure Ouest du récif de Nosy Bé (*alias* Nosy Vato) devant Morombé, d'après Battistini (*inédit*).

Voeltzkow pense que ces platiers morts sont, près de Tuléar, les restes de récifs construits à un niveau légèrement plus élevé (0,50 à 1 m). Cependant, à Nosy Trozona devant Morombé, Perrier de la Bathie croit au contraire à une légère transgression récente, car il décrit des sables terrestres (fragments d'œufs d'*Aepyornis*) situés au niveau des mers moyennes. Si des mouvements du sol très récents n'ont pas dénivelé les deux lieux, il est possible que les sables terrestres de Trozona soient antérieurs au maximum flandro-dunkerquien, et que la partie la plus haute des récifs date de ce dernier. Ce n'est là qu'une suggestion personnelle.

De toute façon, les récifs témoignent là encore d'une adaptation à une houle de SW. Ils comportent plusieurs cayes devant Morombé et le Cap Saint-Vincent, et une, Nosy Vé, au Sud de Tuléar devant Anakao. La caye de Nosy Vé est, d'après Battistini, caractéristique à cet égard : « La face Sud et SW est entièrement grésifiée (beach-rock) et corrodée par des lapiés ; la face Nord et NE au contraire montre seulement de vastes plages de sable et de très rares affleurements grésifiés. Cette dissymétrie est due vraisemblablement au déplacement de la caye sous l'action de la houle dominante ». De même à Nosy Bé/Nosy Vato devant Morombé (Battistini), la caye, beaucoup plus petite et entièrement grésifiée, est très fortement corrodée par des lapiés, et est localisée dans la partie NE du récif. Même localisation de la caye à Nosy Hao et trois autres récifs devant le cap Saint-Vincent (SH 4734).

Du point de vue de la zonation horizontale, le platier porte souvant une levée de blocs détritiques de grande taille (jusqu'à 1,5 m 3 à

Nosy Vato / Nosy Bé) par suite de la force des déferlements ; mais il n'y en a pas, d'après Voeltzkow, au grand récif devant Tuléar. La partie interne des platiers est occupée par des prairies de Cymodocées. Un exemple de zonation est donné sur la figure 9.

Par endroits, le récif-barrière est, soit remplacé, soit doublé par un récif frangeant : ainsi entre Anakao et Soalara, où la barrière disparaît devant l'embouchure de la rivière Onilahy pour céder la place à un canyon sous-marin de plus de 1000 m de profondeur (SH 4715), et où le récif frangeant comporte un chenal d'embarcation peu profond (même carte). La barrière a aussi par endroits une disposition en échelons, avec éléments se rattachant à une de leurs extrémités à la terre (Morombé : SH 4733).

3. *Les récifs frangeants du Sud.*

Au Sud d'Anakao, on passe progressivement à un récif frangeant. La transition se fait par un récif à chenal d'embarcations, jusqu'à Efoetsy (24° 10' S), large de 100 à 300 m, et qui peut être utilisé par des bâtiments de 5 tonneaux (Battistini, Voeltzkow). D'Efoetsy à Itampolo (24° 40' S), il n'y a pas, d'après Battistini, de vrai récif corallien. Ensuite, d'après le même, un récif frangeant se suit jusqu'à Lambetabé (24° 50' S), d'abord avec un étroit chenal d'embarcations qui n'a nulle part plus de 2 m de profondeur, puis, à Lambetabé, collé contre la côte même (fig. 10). Là, il consiste en un platier de

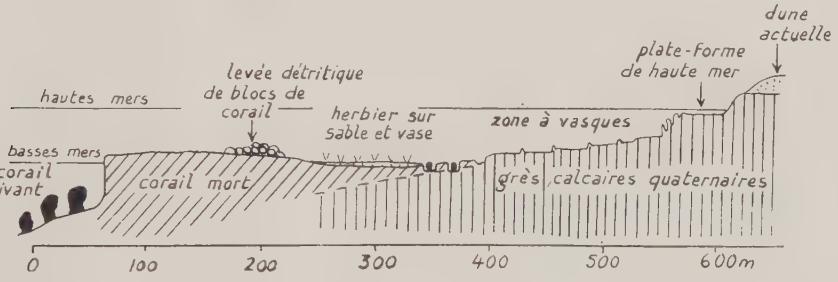



Fig. 10. — Zonation littorale et récif frangeant à Lambetabe (côte Sud de Madagascar), d'après Battistini (*inédit*)

corail mort, construit sur la partie externe de grès dunaires et marins quaternaires, et en avant duquel vivent des coraux actuels immergés par des fonds de 3 à 8 m. La bordure externe du corail mort est entaillée par des rainures perpendiculaires à la côte.

Le dernier récif vers le Sud qui soit bien caractérisé se trouve à Androka, de part et d'autre de l'embouchure de la Linta (Voeltzkow, Battistini). Ici, par exception pour le Sud, le récif s'écarte nettement

du rivage en laissant entre la terre et lui des profondeurs de 5 à 6 mètres : mais cela sur quelques kilomètres seulement. Au-delà, il n'y a pas de vrais récifs le long de la côte jusqu'à Fort-Dauphin, d'après Battistini. Au large, la nature du Récif et du Banc de l'Etoile (44° 15' E, 25° 20' à 25' S) est mal précisée. Toute cette côte de l'extrême Sud est très violemment battue par la houle australe, et l'étude récifale y est certainement fort difficile. Mais la médiocrité de la construction récifale, qui paraît ressortir des données ci-dessus, pose un problème, puisque les conditions de température des eaux sont en principe favorables.

*4. Les récifs océaniques d'Europa et de Bassas da India.*

Ces deux récifs, situés par 22° 20' S - 40° 22' E, et par 21° 27' S - 39° 42' E, sont les points culminants d'une petite dorsale NW-SE du Sud du canal de Mozambique ; ils sont séparés de Madagascar et de l'Afrique par des fonds de plus de 3000 mètres.

*Europa* (fig. 11) est, dans sa partie superficielle, un des récifs les mieux connus de l'Océan Indien occidental. Il a été visité et décrit par Voeltzkow, Perrier de la Bathie, Poisson, Paulian et Fourmanoir, et cartographié en 1936 par les officiers du croiseur « Jeanne-d'Arc » (meilleures descriptions : Voeltzkow et Fourmanoir). Il porte depuis 1948 une station météorologique.

La partie toujours émergée mesure environ 6 km de l'Ouest à l'Est et autant du Nord au Sud, et elle est entourée d'un platier découvrant à basse mer sur une largeur moyenne de 600 m. C'est un récif annulaire à lagon très peu profond. En effet, toute la partie centrale est occupée par une étendue d'eau communiquant avec la mer par une passe au NNE : il n'y reste que 0, 75 m à 1 m d'eau à marée basse. La partie interne et orientale du lagon renferme une importante mangrove, décrite par Fourmanoir ; le fond contient, dans le Nord et le Centre, du sable corallien, passant dans la mangrove à du sable vaseux et de la vase, puis à nouveau à du sable sur les bords de la mangrove du côté de la partie émergée. Un autre petit lagon, à fond vaseux, se trouve à l'Ouest de l'entrée du grand lagon.

L'ensemble de l'île est formé d'un platier de corail émergé, dont la surface est, d'après Fourmanoir, à 3, 50 m au-dessus des basses mers de vives eau, 2,70 m au-dessus du platier actuel, et 0,10 m au-dessus des hautes mers de vive eau. On retrouve ici la trace d'une émersion récente, que nous avons déjà signalée en d'autres points. Le corail émergé est fortement lapiazé, et taillé en encorbellement (visor) sur sa périphérie. Sur ce platier reposent des accumulations détritiques

atteignant 5 à 6 mètres d'altitude d'après PERRIER DE LA BATHIE et 12 mètres d'après VOELTZKOW. Il est évident, d'après la description de VOELTZKOW et une photographie de FOURMANOIR, que ces accumu-

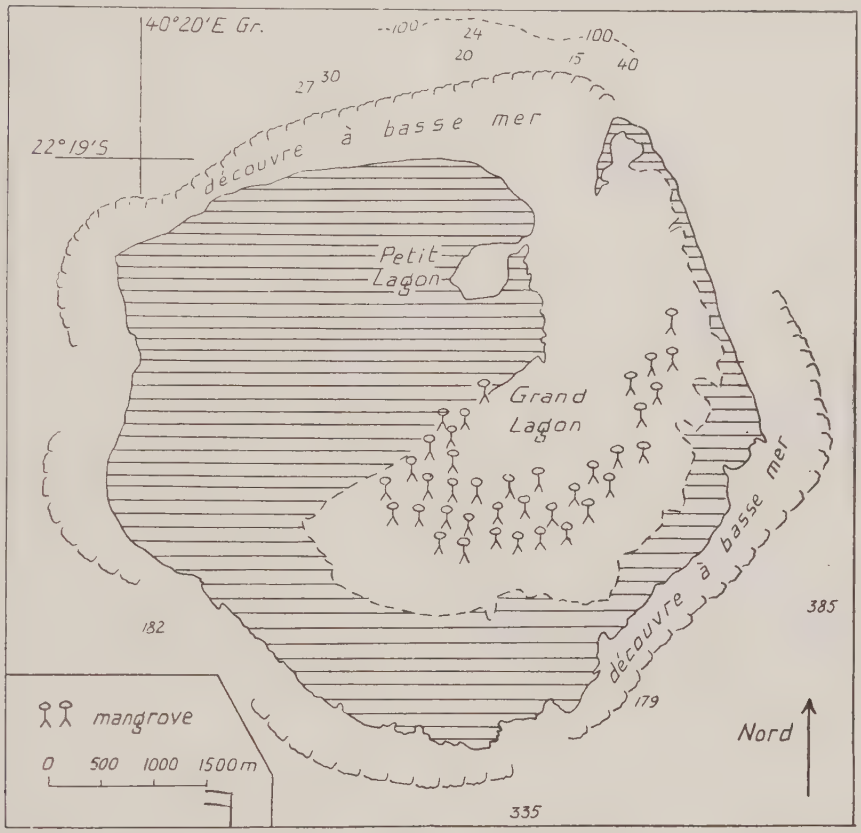



Fig. 11. — Ile Europa, d'après la carte marine française 5846, et des données de VOELTZKOW et de FOURMANOIR. — Profondeurs en mètres.

lations, qui comportent de gros blocs de corail (certains ont 0, 50 m de long à 10 m au-dessus des hautes mers), sont des « remparts » empilés par les déferlements ; cependant, le vent a inséré du sable dans les interstices (VOELTZKOW).

La disposition générale en fer à cheval montre le récif faisant front à une houle de SSW, comme Juan de Nova, l'entrée du lagon étant dans la zone d'abri. La houle d'origine australe doit l'emporter dans la résultante, puisque le vent dominant est ici l'alizé, qui vient, d'après FOURMANOIR, du SSE.

Le platier de corail actuel contient, comme d'habitude, peu de parties vivantes. Il s'élargit jusqu'à 800 m dans le Nord, mais ne comporte vers le lagon aucune passe praticable à basse mer. La bordure externe, qui a pu être examinée dans le Nord par VOELTZKOW et FOURMANOIR, comprend, jusqu'à 5-6 brasses, de grosses têtes de corail se surplombant mutuellement et séparées par des creux sableux, puis une descente rapide vers des fonds de 20 à 40 brasses (donc plus rapide que sur le côté abrité de Juan de Nova). La carte marine française (SH 5846), levée en 1936, la montre toutefois plus ménagée, probablement à cause de la sédimentation, que du côté Sud, où une profondeur de 335 m a été trouvée à 400 m de la bordure. On reconnaît dans cet abrupt un caractère courant des récifs océaniques (cf. les Comores). On n'a pas de données sur le substratum pré-corallien.

*Bassas da India* est un récif annulaire à lagon peu profond lui aussi, mais sans île, et, par suite, inhabitable. Il a été découvert en 1774, étudié et cartographié par le Commandant WHARTON en 1878 (voir VOELTZKOW), et par la « *Jeanne d'Arc* » en 1936 (SH 5846). Il est presque circulaire et mesure environ 11 km de diamètre. De nombreuses têtes de corail encombrent le lagon. Malgré le peu de profondeur de celui-ci, le récif mérite mieux qu'Europa le nom d'atoll. Le platier circulaire découvre de 1 m à 1, 20 m à basse mer, et porte de grosses têtes de nègre de 2 à 3 m. Comme Europa, il fait front au SSW, le lagon communiquant avec la mer par deux petites passes au NNE. Les pentes externes semblent rapides et très longues, au moins dans certaines directions (1317 m de profondeur à 2 km dans l'Ouest). Là aussi, le substratum est inconnu.

## LES RÉCIFS DE LA CÔTE EST DE MADAGASCAR

La plus grande partie de la côte orientale de Madagascar est constituée par un immense cordon littoral de sable extrêmement rectiligne, avec lagunes de barrage. A première vue, les formations coralliennes ne semblent donc pas jouer ici un rôle important. Leur rôle n'est cependant pas nul, mais, comme sur la côte Ouest, les études ne portent que sur certains points localisés, entre lesquels on manque de données précises.

Ici, il semble qu'au contraire des côtes Nord-Ouest et Ouest, il n'y ait que des récifs frangeants actuels ou anciens, avec chenal d'embarcations actuel ou fossile.

C'est un récif frangeant à chenal actuel qui fait toute la valeur du port de Tamatave (SH 5189 et 5195). A cet endroit existe, en effet

un récif parallèle à la côte, discontinu et séparé de terre par un sillon, localement assez profond pour que les navires de haute mer puissent y accéder (passage au récif-barrière). Un des éléments du récif est relié à la terre par un tombolo. Le récif est légèrement émergé, et continue à porter des coraux vivants sur sa bordure (VOELTZKOW).

De même, à l'île Sainte-Marie (SH 5776), existe sur la côte orientale un récif parallèle à la terre, dont il est séparé par un chenal. Une partie du récif est couverte de sable et forme une pointe de 6 km de long. Le récif ne va pas jusqu'au Nord de l'île pour une raison mal déterminée. Peut-être est-il caché sous la plaine littorale qui l'a fossilisé. Sur la grande terre (Madagascar) en face de l'île Sainte-Marie, il y a un autre récif frangeant légèrement émergé, et incorporé à la côte (VOELTZKOW). En d'autres endroits encore, on signale des récifs sur lesquels le cordon de sable s'appuie (DECARY, et MONNIER cité par lui). D'après VOELTZKOW, les lagunes en arrière du cordon de sable de la côte Est de Madagascar dériveraient généralement d'un ancien chenal d'embarcations marin dont le récif serait fossilisé (mais cette généralisation ne repose pas sur un examen d'ensemble) ; lorsqu'il y a encore un chenal marin, le récif se trouve en avant de la côte, et en ce cas la vie corallienne se poursuit sur sa bordure, mais, d'après notre auteur, sur un rythme très lent.

Dans le NE, enfin, on trouve de nombreux éléments de récifs émergés de plusieurs mètres, parfois plus de 15 mètres, donc nettement plus élevés que les précédents. Au Sud de l'entrée de la rade de Diégo-Suarez, ils forment ainsi des presqu'îles reliées à la terre par des pédoncules plus bas qu'eux, et délimitant une série de petites baies alignées qui sont les éléments de l'ancien chenal d'embarcations (GUILCHER). Les récifs de cette région sont surmontés par des dunes anciennes et actuelles, mises en place par l'alizé de SE. Vers le Sud, d'autres récifs émergés existent aux îles Leven (12° 45') : là, ils n'ont pas été soudés à la grande terre (GENCE).

***

On voit donc en définitive, que des récifs émergés d'une dizaine de mètres ou davantage ne sont connus avec certitude à Madagascar que dans l'extrême Nord, de part et d'autre du Cap d'Ambre. Par contre, sur de nombreuses côtes de Madagascar, et dans les îles du canal de Mozambique, on observe beaucoup de récifs émergés très légèrement (0,50 m à 1 m), qui doivent pouvoir s'expliquer, pensons-nous, par une petite baisse du niveau marin postérieure au maximum post-glaciaire.

Voeltzkow, qui a été le premier à insister sur le second de ces faits, et qui l'a noté en d'autres parties de l'Océan Indien occidental, en a même tiré (1906) une théorie générale de la formation des récifs de cette région du monde. Pour lui, il y aurait là essentiellement des restes de constructions édifiées en fonction de l'ancien niveau marin légèrement plus élevé que l'actuel, et la construction corallienne actuelle serait quasi-nulle. Il est revenu à de nombreuses reprises, dans ses descriptions, sur la faible importance des coraux vivants dans les parties qu'il a visitées, et parle constamment de « récifs morts ».

Pour Madagascar, cette conception nous paraît cependant exagérée. Dans la très grande majorité des récifs du monde, les surfaces mortes excèdent considérablement les surfaces vivantes, ce qui ne veut pas dire que la construction soit arrêtée : la vie corallienne est périphérique, et les polypiers actuels continuent lentement l'œuvre de leurs prédécesseurs, en fournissant toujours, par l'intermédiaire de l'érosion et de l'accumulation marines, des débris aux platiers devant lesquels ils prospèrent. Le léger abaissement du niveau marin a simplement reporté la construction à un plan un peu moins élevé, mais il ne semble pas y avoir, dans l'ensemble du domaine considéré, et contrairement à ce qu'a pensé Voeltzkow, de différence et de rupture essentielle avec l'édification survenue dans le passé.

## BIBLIOGRAPHIE

Cartes marines du Service Hydrographique français (citées dans le texte sous l'indicatif : SH).

Davis (W. M.), 1928. — The coral reef problem. — *Amer. Geogr. Soc., Spec. Publ.* n° 9, New York, 596 p. (voir p. 243, 247, 281, 372, et Madagascar à l'index).

Decary (R.), 1922-23. — Les formations littorales de la région de Mananara. — *Bull. Acad. Malgache* (Tananarive), n. sér., t. 6, p. 63-65.

Fichot (E.), 1902. — Les côtes de Madagascar. — *Rev. Maritime* (Paris), t. 153, juin 1902, p. 1017-1036.

Fourmanoir (P.), 1952. — Observations sur la faune marine et la pêche à l'île Europa. — *Mém. Inst. sci. Madag.* (Tananarive), A, t. 7, fasc. 2, p. 167-188 (contient une description morphologique).

Gauthier (E. F.), 1902. — Madagascar, essai de géographie physique. — Thèse Lettres, Paris, 430 p.

Gence (M. G.), 1937. — Esquisse géologique des îles Leven. — *Arch. Bur. Géol.* (Tananarive), n° 447, 10 p. dactyl. (*inédit*).

Guilcher (A). — Etude géomorphologique des récifs coralliens du Nord-Ouest de Madagascar. — *Ann. Inst. Océanogr.* (Paris), t. 33,

fasc. 2, 1956, p. 65-136 (notes prélimin. dans *C. R. Somm. Soc. Géol. France*, Paris, 29 nov. 1954, p. 372-373, et dans *Bull. Ass. Géogr. Français*, Paris, n° 245, nov. 1954, p. 147-156).

— 1956. — Les types de récifs coralliens du Nord-Ouest de Madagascar. — *Vingtième Congr. Géol. Internat.*, Mexico, section 12, genèse des récifs anciens et modernes (*sous presse*).

Guilcher (A.), Berthois (L.), Battistini (R.), et Fourmanoir (P.), 1958. — Les récifs coralliens des îles Radama et de la baie Ramanetaka (Côte NW de Madagascar), étude géomorphologique et sédimentologique. — *Mem. Inst. sci. Madag.* (Tananarive), F. II.

Instructions Nautiques, n° 428. — Madagascar et îles voisines d'une partie des Océans Indien et Austral. — Paris, Imp. Nat., 1946, 455 p. (donne la liste complète des cartes marines françaises de la région).

Lacarrieu (J.) et Paulian (R.), 1954. — Voyage à l'île des cyclones (Tromelin). *Rev. Madag.*, p. 43-54.

Lemoine (P.), 1906. — Etudes géologiques dans le Nord de Madagascar. — Thèse Sciences, Paris, 520 p.

Paulian (R.), 1950. — L'île Europa, une dépendance de Madagascar. — *Natur. Malg.*, II, p. 77-85.

— 1955. — Observations sur la faune terrestre de l'Ile Tromelin. — *Natur. Malg.*, VII, p. 1-7.

Perrier de la Bathie (H.), 1921. — Note sur la constitution géologique et la flore des îles Chesterfield, Juan de Nova, Europa et Nosy Trozona. — *Bull. économ. Madag.* (*Tananarive*), 3e trim. 1921, p. 170-176.

Poisson (H.), 1923. — Rapport de tournée à l'île Europa, Morombe... — *Bull. économ. Madag.*, 2e trim. 1923, p. 131-141.

Pretceille (M.), 1955. — Petites îles qui deviennent grandes (Tromelin, Europa, Clipperton). — *Geographia* (Paris), n° 48, sept. 1955, p. 33-36.

Voeltzkow (A.), 1904-1905. — Berichte über eine Reise nach Ost-Afrika zur Untersuchung der Bildung und der Aufbaues der Riffe und Inseln des westlichen Indischen Ozeans. — *Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin.* 1904 : IV. Die Comoren, p. 279-301 ; V. Europa-Insel, p. 426-451. — 1905 : VI Madagaskar, p. 89-119, 184-211, 285-296.

d'après Voeltzkow (A.), 1906. — Neue Erfahrungen über Korallenriffe. — *Peterm. Mitteil.* (Gotha), t. 52, 1906, p. 70 (voir aussi *Ann. Géogr.*, Paris, t 15, 1906, p. 392-393).

MÉMOIRES DE L'INSTITUT SCIENTIFIQUE DE MADAGASCAR
Série F. — Tome II. — 1958

# LES RECIFS CORALLIENS DES ILES RADAMA ET DE LA BAIE RAMANETAKA (COTE NORD-OUEST DE MADAGASCAR), ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE ET SEDIMENTOLOGIQUE

par

André GUILCHER, Léopold BERTHOIS
René BATTISTINI et Pierre FOURMANOIR

## INTRODUCTION

Les Iles Radama et la Baie Ramanetaka sont situées (fig. 1) sur la côte Nord-Ouest de Madagascar, entre Nosy Be et Majunga. L'archipel des Radama comprend quatre îles ; Kalakajoro, Berafia, Antany Mora et Nosy Valiha.

L'intérêt que présente, du point de vue récifal, cet ensemble d'étendue réduite, était apparu à l'un de nous au cours d'une mission en 1954 ; cet intérêt a été brièvement signalé (Guilcher, 1956, p. 110). Il n'avait cependant pas été possible, à l'époque, de faire là une étude au sol, mais seulement de procéder à un examen sommaire en avion et sur photographies aériennes.

En août-septembre 1956, une nouvelle mission, en bateau, d'une durée d'un mois, a été entièrement consacrée au Iles Radama et à la Baie Ramanetaka. Les récifs de Kalakajoro, Berafia et Antany Mora ont été observés pendant la grande marée de fin août (coefficient maximum : 88), et ceux de Nosy Valiha et de la baie Ramanetaka pendant la grande marée de début septembre (coefficient maximum : 112). L'organisation matérielle a été assurée par P. Fourmanoir, qui avait déjà exploré antérieurement la région du point de vue ichtyologique ; l'étude géomorphologique sur le terrain a été faite par A. Guilcher et R. Battistini ; l'étude des sédiments recueillis par ces derniers (granulométrie, minéralogie, analyses thermiques, dosage du $CO_3Ca$ et de l'azote, étude du beach-rock, analyses chimiques) a été l'œuvre de L. Berthois ; la rédaction et la coordination générale sont de A. Guilcher ; les figures sont de L. Berthois (sédimentologie) et A.

Guilcher (autres figures). Les résultats relatifs à la granulométrie des sédiments ont été incorporés aux deux premières parties du mémoire ; les autres résultats sédimentologiques font l'objet de la troisième partie, dont L. Berthois est, ainsi, entièrement l'auteur.

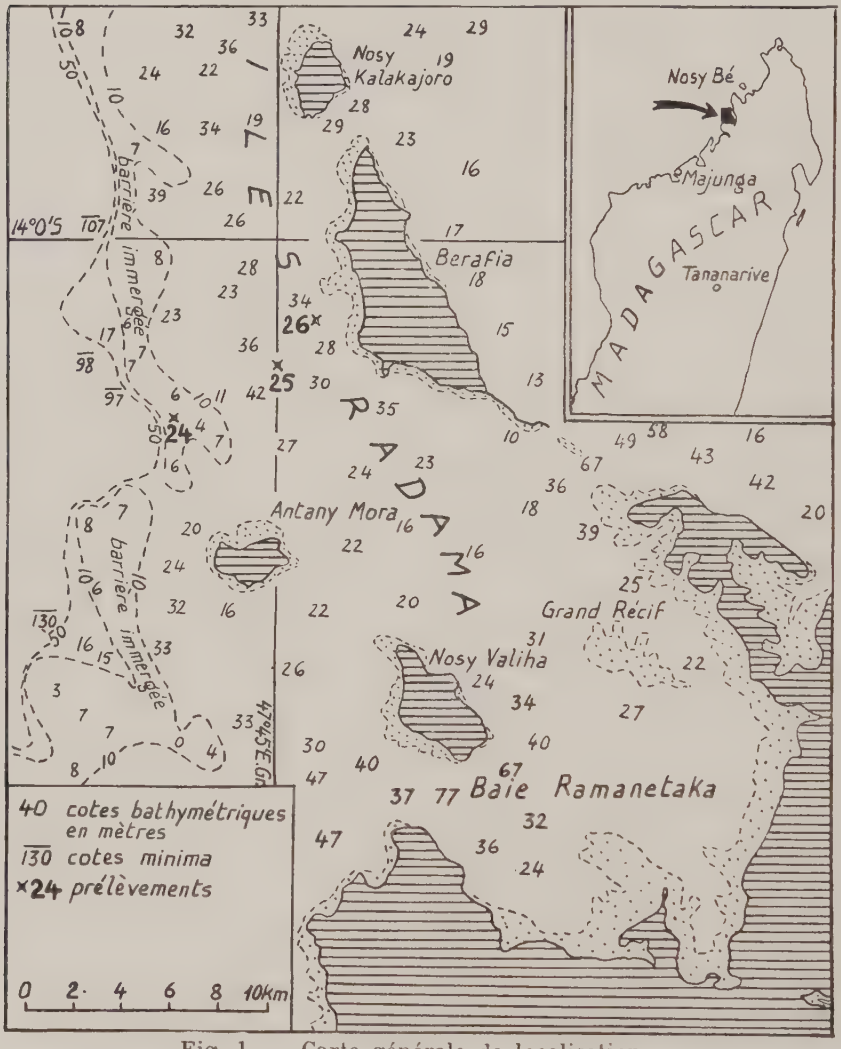



Fig. 1. — Carte générale de localisation.

Nous exprimons nos remerciements à M. le Haut-Commissaire Soucadaux ; à M. le Gouverneur Bailly ; au Centre National de la Recherche scientifique ; à l'Institut de Recherche scientifique de Madagascar, à son Directeur M. Millot et son Directeur-Adjoint M. Paulian ;

à M. Besairie, Chef du Service Géologique de Madagascar, qui a bien voulu examiner les échantillons de Crétacé recueillis au Grand Récif Ramanetaka ; à M. Ménaché, Chef de la Station Océanographique de Nosy Be ; à l'Institut Géographique National, qui a fourni des agrandissements de certaines de ses photographies aériennes verticales, et a bien voulu autoriser leur reproduction. Nous remercions aussi MM. Hassanaly, propriétaires de Berafia, qui nous ont fait recevoir à la plantation, ainsi que M. Giovanni, propriétaire-exploitant d'Antany Mora, les intendants de Berafia et de Nosy Valiha, le Prince sakalave d'Ankatafy et le Chef de village de Langamena.

## A. — LES ILES RADAMA

### 1. Caractères d'ensemble

Cette région de Madagascar fait partie du grand bassin sédimentaire du Nord-Ouest, ou bassin de Majunga (Besairie, 1934, 1936 et 1952). Le pendage se fait vers le Nord-Ouest de façon très régulière à partir du massif ancien malgache. Sur les rives de la Baie Ramanetaka apparaissent des terrains crétacés surtout gréseux, et du basalte crétacé interstratifié qui forme la pointe Sud-Ouest de la baie. Ce basalte se retrouve à Nosy Valiha et à Berafia ; dans cette dernière, le Crétacé sous-jacent affleure sur une petite étendue de la côte Sud-Est. A Antany Mora et Kalakajoro, ce sont, dans l'Est et le Sud-Est, des calcaires et marnes éocènes et oligocènes, que surmontent des trachytes formant la plus grande part des deux îles.

Basaltes et trachytes pendent vers le Nord-Ouest comme les terrains sédimentaires, et forment des reliefs de cuestas faisant front au Sud-Est (fig. 3, 4, 5, 6). Le front des cuestas domine la mer de 146 à 174 m selon les îles ; leur revers est fortement disséqué, surtout à Berafia. Le réseau hydrographique est, dans l'ensemble, cataclinal (conséquent) ; à Berafia, une capture s'est produite dans le Sud-Ouest, par suite du recul de la cuesta qui domine là immédiatement la mer (fig. 4). La dissection est activée par la déforestation habituelle à Madagascar, surtout dans les basaltes qui sont profondément altérés en argile rouge (voir plus loin, C, 3, analyses thermiques) ; les trachytes donnent des sols jaunes moins profonds (Guilcher, 1957).

Les quatre îles se trouvent dans une sorte de très vaste lagon, dont la profondeur est de quelques dizaines de mètres ; on a sondé jusqu'à 67 m au SE de Berafia, et 77 au S de Nosy Valiha, en des resserrements où, sinon un surcreusement, au moins un lessivage par le courant de marée est très probable et normal. Le lagon est limité à

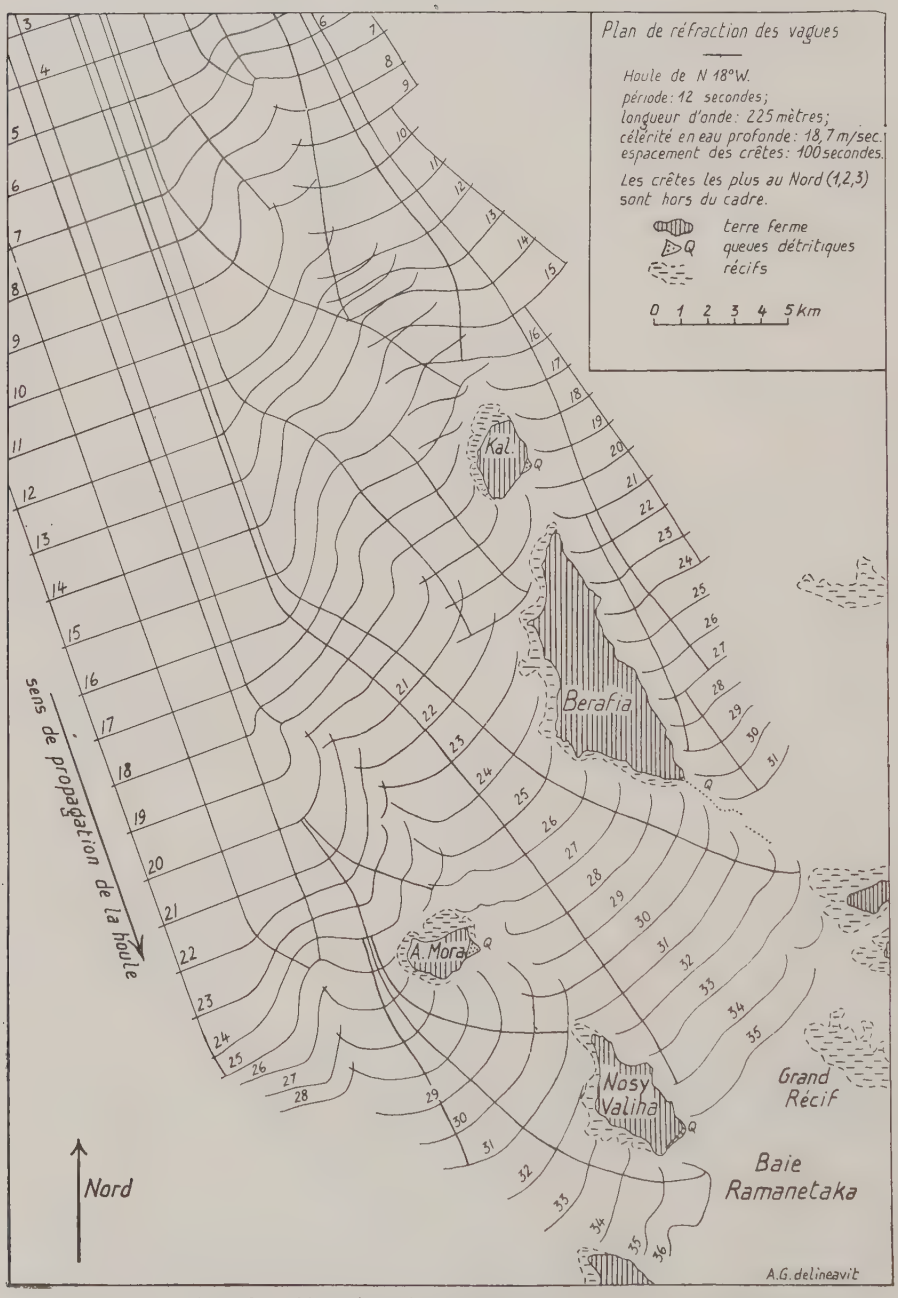



Fig. 2. — Plan de réfraction des vagues pour les Iles Radama.

l'Ouest par une barrière immergée sous quelques mètres d'eau seulement, élément d'un ensemble beaucoup plus vaste qui s'étend le long de toute la façade Nord-Ouest de Madagascar. Nous reviendrons sur cette barrière.

Sur les forces en action, nous pouvons être brefs, car elles sont les mêmes que sur l'ensemble de la côte Nord-Ouest de Madagascar, pour laquelle l'un de nous les a caractérisées assez en détail (GUILCHER, 1956, p. 72-78 ; et GUILCHER, 1958, dans ce volume). La houle vient en moyenne du NNW, par suite du régime des vents et de la position par rapport à Madagascar. C'est une houle extrêmement modérée, parce que les vents le sont, et ceci est un fait essentiel. C'est néanmoins une houle de type océanique, engendrée sur une longue course dans le Canal de Mozambique. Le caractère océanique de la houle est prouvé par sa période relativement longue : ainsi, nous avons mesuré, sur le récif Nord de Berafia le 22 août 1956, une période de 12 secondes, et, sur le récif Ouest de la même île le 31 août, une période de 13 secondes 2/3 (moyenne d'observations pendant 5 minutes). La faible amplitude est en partie due à l'amortissement sur la barrière extérieure, mais même au dehors de celle-ci l'amplitude est déjà peu importante.

La dénivellation de la marée n'est pas connue exactement. Comme sur toute la côte Nord-Ouest de Madagascar, elle est relativement forte : elle doit dépasser 4 mètres en grande marée, ce qui donne lieu à des courants très sensibles, en particulier entre Kalakajoro et Berafia et aux entrées NE et SW de la Baie Ramanetaka. On verra que ces courants jouent probablement un rôle essentiel dans la croissance de certains récifs.

Les eaux entourant les Iles Radama sont, de façon très générale, des eaux claires.

Les quatre îles présentent, du point de vue récifal, la même disposition d'ensemble. Les récifs frangeants sont bien développés au Nord et à l'Ouest, c'est-à-dire face à la houle, où leur largeur peut atteindre et dépasser 1 km en y comprenant le complexe détritique en arrière du bioherme. Ils sont extrêmement réduits à l'Est et au Sud-Est, c'est-à-dire à l'abri de la houle ; mais, de ce côté, les îles comportent chacune une queue détritique (par exemple, pl. XVIII, Kalakajoro). Ces îles possèdent donc des accumulations détritiques bien développées et ressortant aux deux grands types, au vent et sous le vent (GUILCHER, 1956, p. 125).

Afin de préciser l'adaptation à la houle, nous avons établi (fig. 2) un plan de réfraction des vagues pour une houle-type de période 12 secondes, et originaire de N 18° W : cette direction est apparue antérieurement comme constituant vraisemblablement une direction moyen-

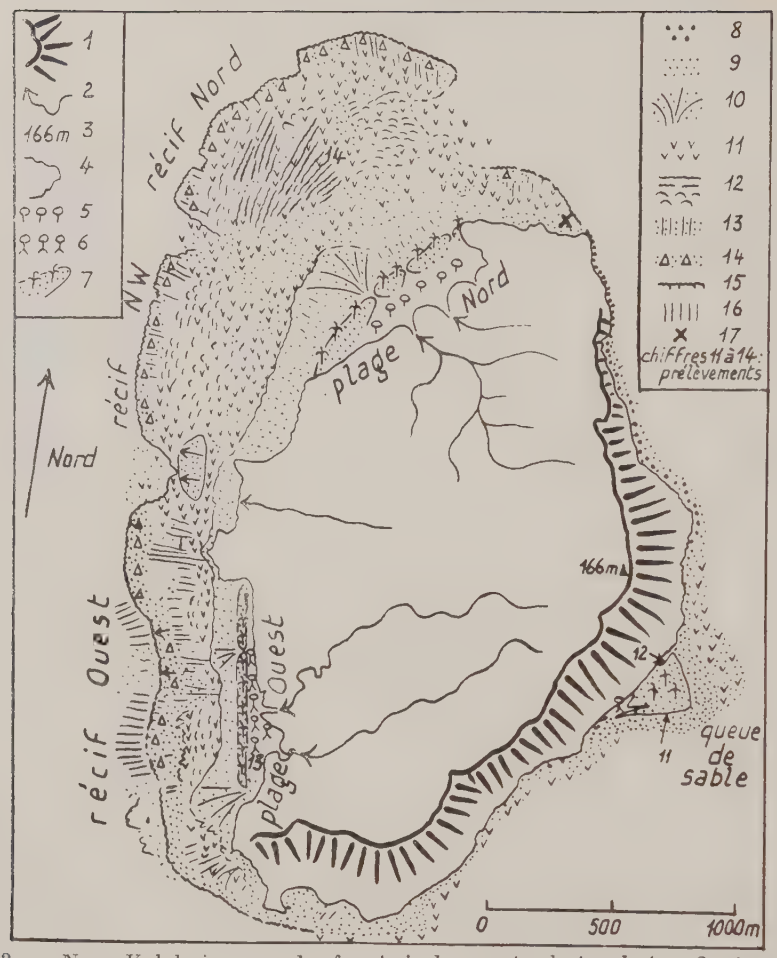



Fig. 3. — Nosy Kalakajoro. — 1 : front de la cuesta de trachyte ; 2 : torrent ; 3 : point culminant ; 4 : contours de l'île ; 5 : arbres dans dépression derrière cordon littoral ; 6 : mangrove ; 7 : flèche littorale boisée ; 8 : galets et blocs de trachyte ; 9 : sable ; 10 : delta de plage ; 11 : prairie de Cymodocées ; 12 : mares en rangées parallèles ou en croissants dans la prairie à Cymodocées ; 13 : stries détritiques ; 14 : sable, gravier et têtes de nègre (triangles pour ces dernières) sur la crête externe ; 15 : bord du récif ; 16 (au dehors de 15) : récif vivant en éperons ; 17 : récif mort situé au-dessus du niveau de croissance actuel.

---

Fig. 4. — Berafia. — 1 : front de la cuesta de basalte ; 2 : torrent ; 3 : point culminant ; 4 : contours de l'île ; 5 : mangrove ; 6 : flèche littorale boisée ; 7 : petits blocs de galets de basalte (avec palétuviers quand un arbre est figuré) ; 8 : sable ; 9 : delta de plage ; 10 : prairies de Cymodocées ; 11 : mares en rangées parallèles ou en croissants dans la prairie à Cymodocées ; 12 : stries détritiques ; 13 : sable, gravier et têtes de nègre (triangles pour ces dernières) sur la crête externe ; 14 : bordure vivante du récif ; 15 (au dehors de 14) : récif vivant en éperons ; 16 : récif mort situé au-dessus du niveau de croissance actuel.

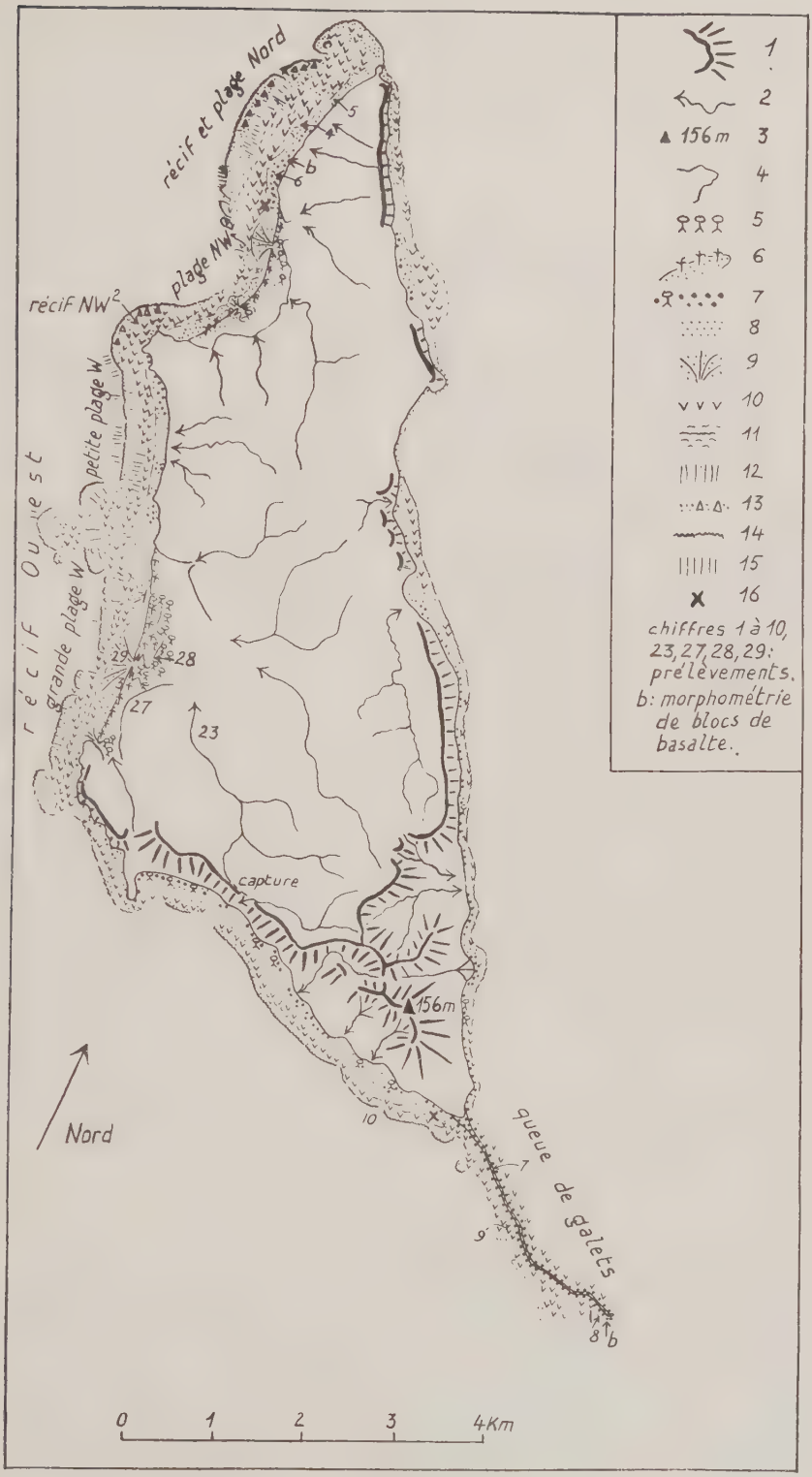

récif et plage Nord
plage NW
récif NW
petite plage W
grande plage W
récif Ouest
capture
156m
Nord
queue de galets
0 1 2 3 4Km
1
2
156m 3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
chiffres 1 à 10, 23, 27, 28, 29: prélèvements.
b: morphométrie de blocs de basalte.

Fig. 4

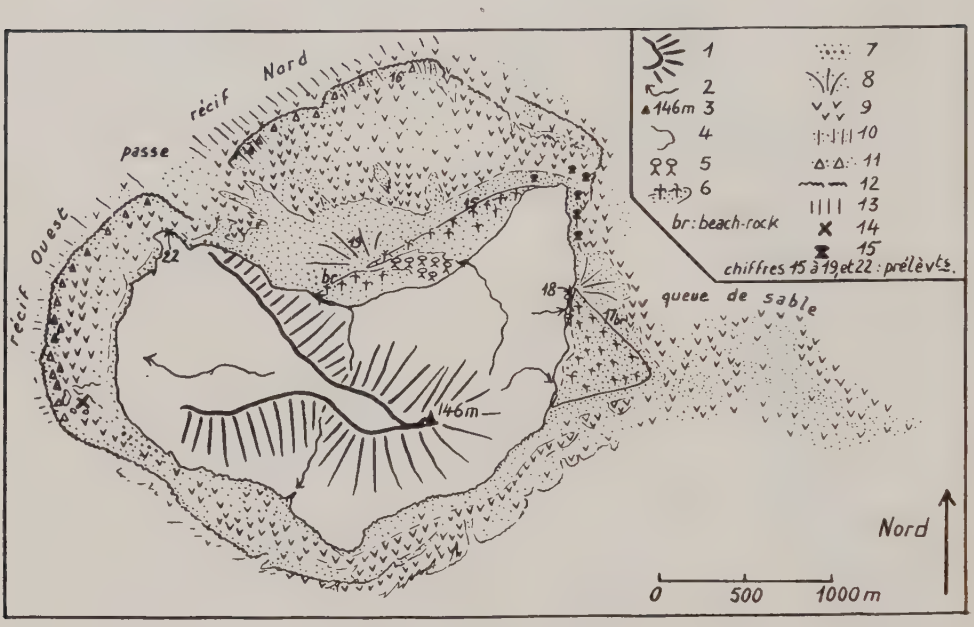



Fig. 5. — Antany Mora. — 1 : front de la cuesta de trachyte ; 2 : torrent ; 3 : point culminant ; 4 : contours de l'île ; 5 : mangrove ; 6 : flèche littorale boisée ; 7 : sable et galets ; 8 : delta de plage ; 9 : prairies de Cymodocées ; 10 : stries détritiques ; 11 : sable, gravier et têtes de nègre (triangles pour ces dernières) sur la crête externe ; 12 : bordure vivante du récif ; 13 (au dehors de 12) : récif vivant en éperons ; 14 : récif mort situé au-dessus du niveau de croissance actuel ; 15 : rochers-champignons à double encorbellement dans calcaire éocène.

---

Fig. 6. — Nosy Valiha. — 1 : front de la cuesta de basalte ; 2 : torrent ; 3 : point culminant ; 4 : contours de l'île ; 5 : mangrove ; 6 : mangrove morte ou moribonde ; 7 : dépressions entre crêtes littorales successives dans la plaine du Nord ; 8 : flèche littorale boisée ; 9 : petits blocs de basalte (avec palétuviers quand un arbre est figuré) ; 10 : sable ; 11 : delta de plage ; 12 : prairie de Cymodocées ; 13 : mares en rangées parallèles ou en croissants dans la prairie de Cymodocées ; 14 : stries détritiques ; 15 : bordure vivante du récif ; 16 (au dehors de 15) : récif vivant en éperons.

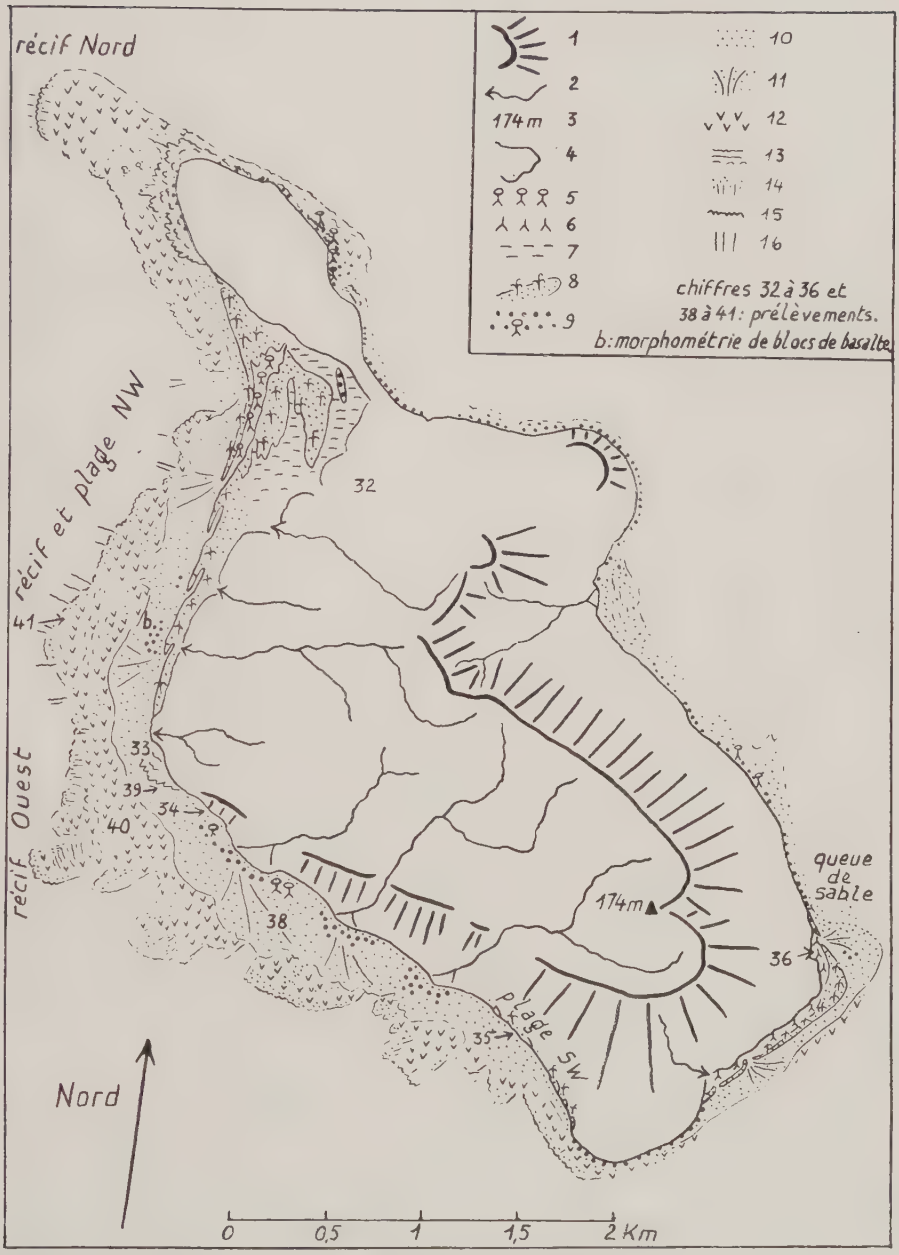

récif Nord
1
2
174m 3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
chiffres 32 à 36 et
38 à 41: prélèvements.
b: morphométrie de blocs de basalte
récif et plage NW
récif Ouest
queue de sable
174m
plage SW
32
41
b
33
39
34
40
99
38
35
36
Nord
0
0,5
1
1,5
2 Km

Fig. 6.

ne dans le NW de Madagascar (Guilcher, 1956, p. 99). Sur la construction des plans de vagues, nous renvoyons à Lacombe, 1953, et Berthois, 1954. Le plan est fait sur la carte marine 4379 à 1/100.000e; pour éviter la confusion, les isobathes ne sont pas représentés sur notre figure, mais on peut avoir une idée de la bathymétrie d'ensemble en se reportant à la figure 1. Le relèvement brusque des fonds à la barrière extérieure, et le tracé en plan de cette dernière, accidenté dans le détail, se traduisent par une réfraction très complexe des crêtes de houle. Les convergences principales, matérialisées par le tracé de quelques orthogonales, ne se font généralement pas sur les îles, mais en divers points de la barrière extérieure. D'autres faits ressortant du plan de vagues seront mentionnés plus loin, en relation avec des caractères morphologiques qu'ils expliquent.

## 2. Les récifs frangeants face a la houle et les accumulations associées

*Les bordures vivantes.*

Les quatre îles possèdent des biohermes normalement actifs sur la pente externe des récifs. Cette pente est, le plus souvent, modérée, moins abrupte que dans les récifs océaniques, et de toute façon peu longue, puisque la profondeur est faible autour des îles. Sur la face Nord d'Antany Mora, la pente est particulièrement lente. Au récif Nord de Berafia, elle est cependant assez rapide à partir de 4 à 5 m de profondeur.

Les coraux vivants ont souvent une disposition rainurée en dents de peigne, avec éperons et sillons (*spurs and grooves*, *buttresses and grooves*). Ceci est net au récif Ouest de Kalakajoro (fig. 3), au récif Ouest de Berafia (fig. 4), aux récifs Ouest et Nord d'Antany Mora (fig. 5) et aux récifs Nord-Ouest et Nord de Nosy Valiha (fig. 6). Ces éperons et sillons perpendiculaires à la direction générale de la bordure du récif ne sont en aucune façon particuliers aux Iles Radama : il s'agit d'un fait courant, aussi bien dans des récifs de socles continentaux peu battus comme ceux de la Mer Rouge et de Madagascar (Guilcher, 1955 et 1956), que dans les récifs océaniques très battus du Pacifique (Munk et Sargent, 1954 ; Cloud, 1952 ; Newell, 1954).

Mais l'interprétation de cette structure a donné lieu, en Amérique, à des controverses. A Bikini, Munk, Sargent et d'autres y voient essentiellement une forme de construction par les algues calcaires (*Lithothamnion*, ont-ils dit, mais plutôt, en fait, *Porolithon*) qui vivent sur la bordure très battue des récifs océaniques, et ne forment pas de crête vivante externe dans les eaux calmes du NW de Madagagscar.

Il s'agirait d'une structure très propre à diviser la force des vagues, donc d'une adaptation des organismes constructeurs au milieu. Mais à Onotoa (Iles Gilbert), Preston J. Cloud, qui donne en outre, à la page 43 de son travail, des références à d'autres auteurs parlant des *spurs and grooves*, pense que « les sillons sont, en beaucoup d'endroits, originellement creusés par le courant de retour des vagues, qui entraîne des éléments abrasifs dont ne dispose pas la vague montante, pourtant plus spectaculaire. C'est ce qui produit le réseau radial caractéristique du courant de gravité ». Il suggère (p. 44 et 53) que la plus grande partie de ce creusement se serait produite au cours de l'abaissement récent du niveau marin, dont il y a aussi des preuves aux Iles Radama (voir plus loin, A, 4). Newell, étudiant l'atoll de Raroïa aux Tuamotu, estime que la structure en éperons et sillons résulte de la combinaison de processus d'érosion et de construction, les premiers agissant pour creuser les sillons : ceux-ci seraient modelés par le va et vient de blocs et de graviers déplacés par le déferlement, et il pense (p. 4 de son mémoire) que les effets de l'érosion dans cette structure sont supérieurs à ceux de la construction (il y a d'ailleurs aussi du sable sur le fond des sillons à Bikini).

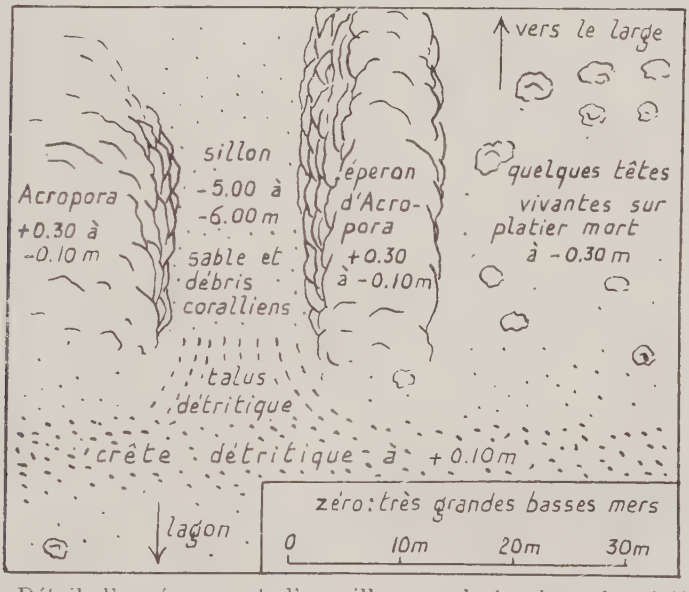



Fig. 7. — Détail d'un éperon et d'un sillon sur la bordure du récif NW de Nosy Valiha.

Nous avons examiné de près des éperons et sillons en deux endroits : devant la petite plage Ouest de Berafia, et devant la plage NW de Nosy Valiha. Au premier lieu, il s'agit de langues de corail, vivantes à

40-50 %, longues de plus de 100 m parfois, et larges de 4 à 5 m, se répétant tous les 15 m en moyenne, et séparées par des sillons occupés essentiellement par du sable et des petites ramures détritiques, avec quelques colonies vivantes de petite taille et très peu abondantes. Au récif NW de Nosy Valiha, la structure de la figure 7 a été relevée : on observe, à droite, un éperon de corail vivant affleurant à très grande basse mer sur environ 40 m, et se continuant plus au large en s'abaissant lentement, qui est bordé d'un côté par un sillon profond de 5 à 6 m ; la pente de l'éperon vers le sillon, et aussi la remontée gauche du sillon vers l'autre massif protubérant qui l'encadre, se font par de grosses têtes surplombantes et entièrement vivantes ; le fond du sillon ne comporte, au contraire, pas ou presque pas de corail vivant, et le raccordement avec la crête détritique du récif se fait par un talus de débris coralliens grossiers incliné à 20-25°.

Ainsi, d'une part les éperons sont communément très florissants, d'autre part les sillons ne comportent pas de coraux vivants en quantité appréciable, mais seulement des éléments détritiques. Nous sommes donc portés à penser que, aux Iles Radama, la structure en dents de peigne est dûe à une combinaison de la construction et de l'érosion, cette dernière se produisant surtout occasionnellement, lors des périodes de houle anormalement forte ; et que la croissance des éperons de corail et le râclage du fond des sillons semblent s'équilibrer à peu près, ce qui ne doit pas empêcher l'ensemble de s'avancer lentement et progressivement vers l'extérieur par allongement de l'éperon par les colonies et comblement de l'extrémité interne du sillon par les produits détritiques. Dans ces conditions, on peut supposer qu'un tel récif comportant une bordure externe en dents de peigne, est formé dans sa partie morte interne, sous un revêtement général détritique de faible épaisseur, par une alternance de massifs allongés en position de croissance, et de remplissages détritiques également allongés parallèlement à ces massifs et entre eux. Cette supposition reste évidemment à vérifier par l'étude de récifs anciens émergés. En tous cas, les dents de peigne des récifs du Shab Suleim et de Marmar en Mer Rouge (Guilcher, 1955, p. 82) ont des caractères homologues de celles des Iles Radama (contraste de la vie corallienne entre les éperons et les sillons), et semblent pouvoir s'interpréter de la même façon. Le fait que les sillons sableux descendent là à plusieurs dizaines de mètres de profondeur (Nestéroff, 1955, p. 30) pourrait être considéré, peut-être, comme le résultat des oscillations eustatiques quaternaires. De la réserve s'impose encore dans les conclusions, sauf, à notre avis, sur le fait de la liaison avec la houle : quelles que soient les parts respectives de la construction et de l'érosion, vraisemblablement variables selon

## LEGENDES DES PLANCHES XVIII à XXIV

Planche XVIII.

Nosy Kalakajoro. Vue aérienne verticale de l'Institut Géographique National Voir la figure 3.

Planche XIX.

A. - Panorama du récif Nord d'Antany Mora. A gauche, passe entre récifs Nord et Ouest. Voir la figure 5. Au fond, Berafia et Kalakajoro.

B. - Panorama du récif Ouest de Kalakajoro. Au second plan, mares en croissants dans la prairie à Cymodocées. En avant, flèche littorale et lagune de barrage. Delta de plage face à la passe. Voir la figure 3 et la planche XVIII.

Planche XX.

A. – Crête externe du récif Ouest d'Antany Mora (basse mer). Nombreuses petites têtes de nègre. Vue vers le Nord-Est. A l'horizon, Kalakajoro.

B. Antany Mora. Récif Nord. Mare en croissant dans la prairie à Cymodocées, un peu en dedans de la crête externe.

C. – Côte Sud-Ouest de Berafia. Galets de basalte agglomérés par du beach-rock. A l'horizon, Antany Mora (profil de cuesta).

Planche XXI.

A. — Queue de sable d'Antany Mora, vue de l'île. Voir les figures 5 et 16 B. Au fond à gauche, Berafia.

B. - Queue de sable de Kalakajoro, vue du sommet de la cuesta de l'île. En arrière à droite, Berafia. Voir les figures 3 et 16 A.

Planche XXII.

A. - Queue de sable et cuesta de Nosy Valiha, vue aérienne vers le SSE. Voir les figures 6 et 16 C.

B. — Queue de galets de Berafia, vue de l'île. Voir les figures 4 et 18.

C. — Queue de sable d'Antany Mora, face Nord-Est attaquée. Voir la figure 16 B.

Planche XXIII.

A. — Pointe Nord-Est d'Antany Mora. Rocher-champignon à double encorbellement dans calcaire éocène.

B. — Pointe Nord-Est d'Antany Mora. Rochers-champignons à double encorbellement dans calcaire éocène.

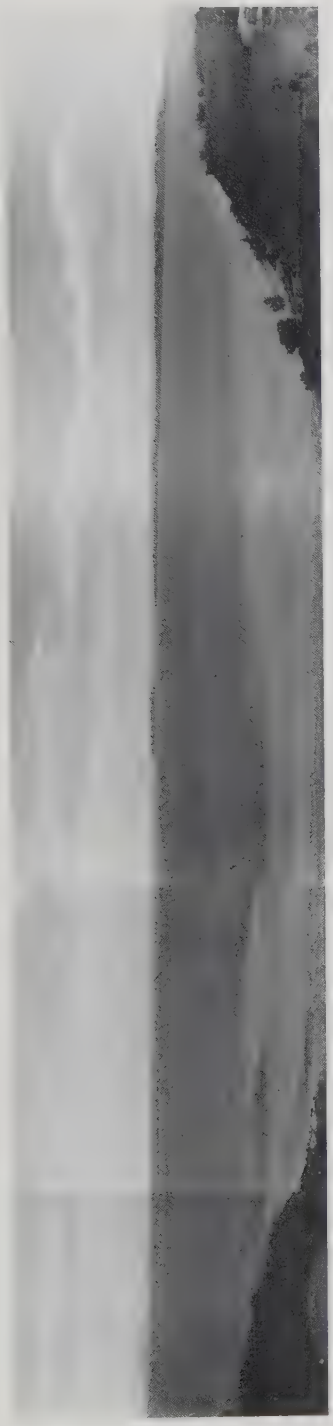
C. — Extrémité Nord-Est de la plage Nord d'Antany Mora. Rocher-champignon à double encorbellement dans calcaire éocène.

Planche XXIV.

A. — Baie Ramanetaka. Récif en traînée allongée H, vu à très grande basse mer. Nosy Valiha au fond à droite. Voir les figures 23 et 24, et la planche XXV.

B. — Baie Ramanetaka. Récif U à petit lagon devant Langamena, vu vers le Nord-Ouest à très grande basse mer. Voir les figures 26 et 28 et la planche XXVI. Au premier plan, petit lagon profond de 3 brasses 3/4, entouré d'une couronne saillante à Porites et Astraea (personnage sur cette couronne) ; derrière à droite, récif couvert d'une pellicule d'eau (couleur claire), puis étendue d'eau plus profonde de la baie où est le bateau.

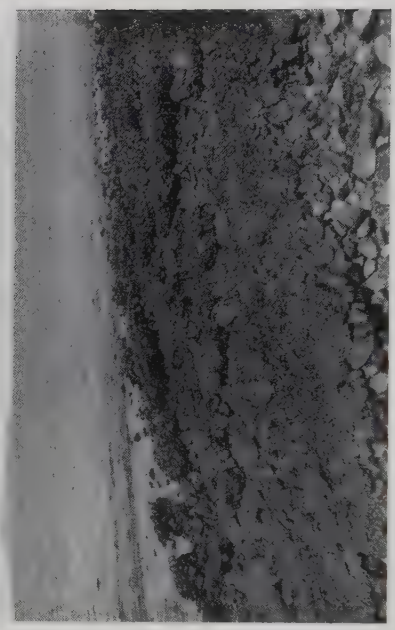
Nord



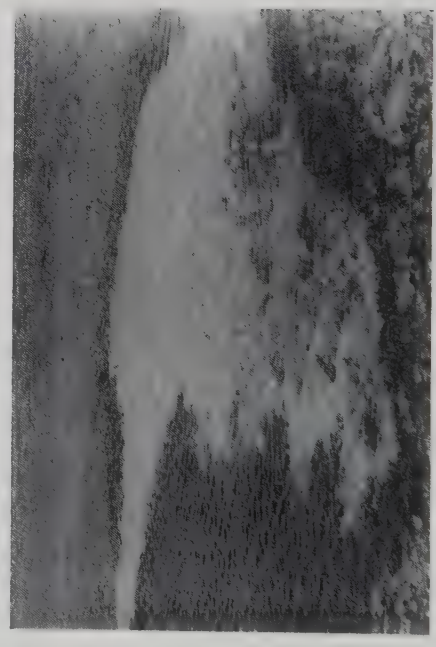
A

B

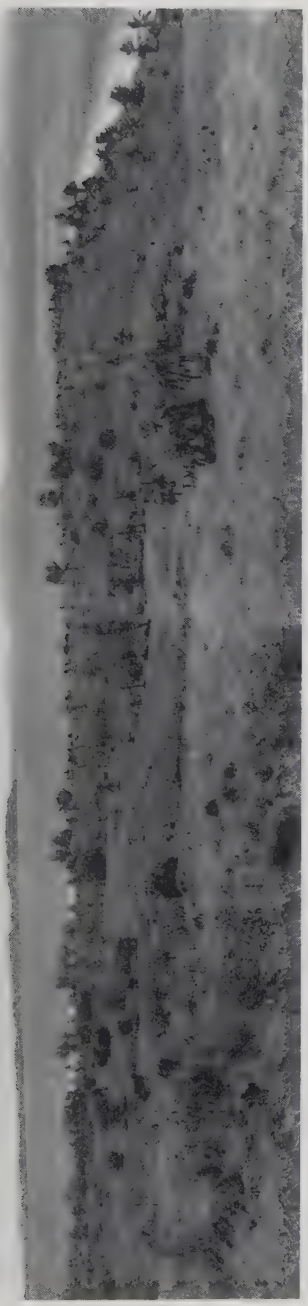
A



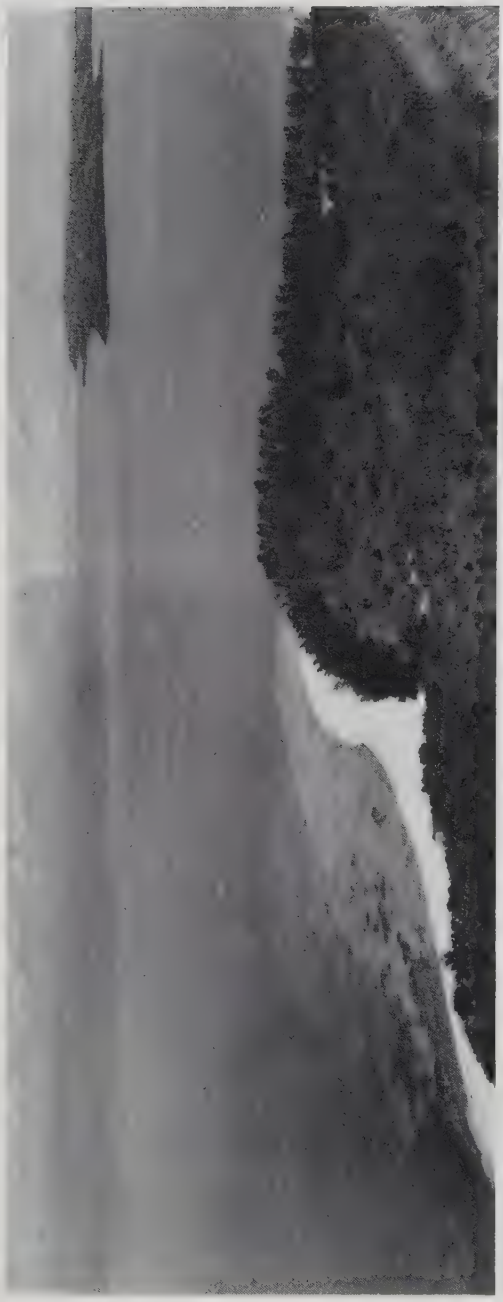
C



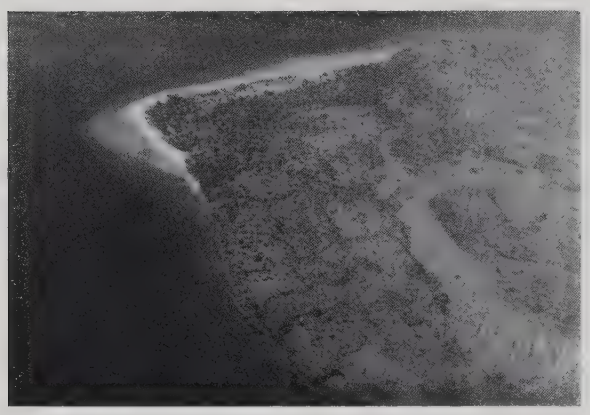
B



A



B



A

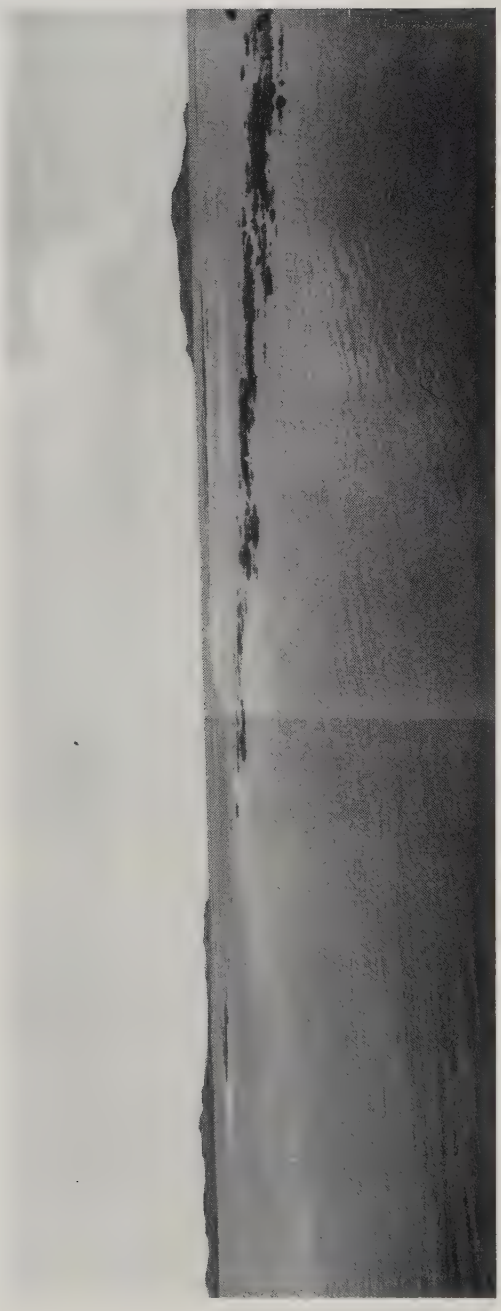
B

C

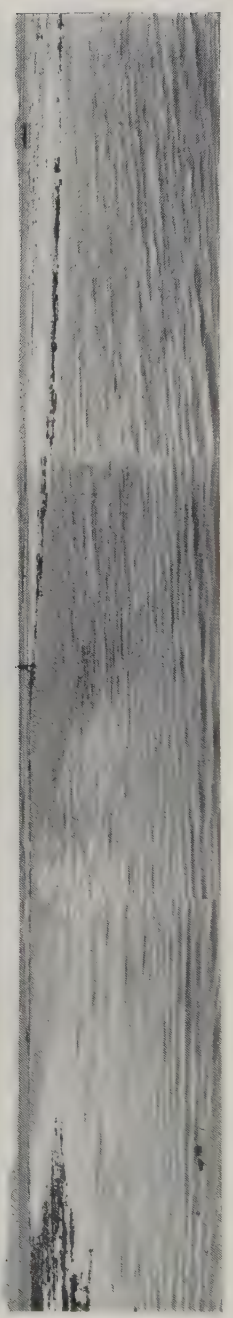
A

B

C



A



B

les régions, la structure en dents de peigne est, pensons-nous, dans tous les cas une conséquence de l'attaque des vagues sur le récif.

*Les crêtes détritiques externes.*

Cette forme existe presque toujours sur les récifs frangeants face à la houle principale (fig. 8, A, B, E.). Elle est constituée de sable, de ramures et de petits blocs provenant du récif, et elle domine de quelques décimètres le lagon très peu profond situé en arrière. Mais son importance et sa constitution varient avec la localisation des récifs.

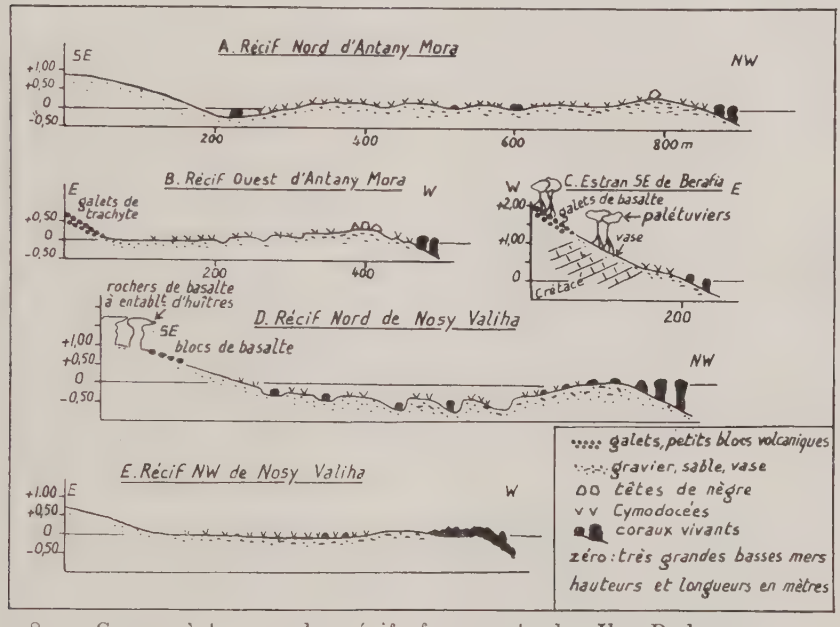



Fig. 8. — Coupes à travers des récifs frangeants des Iles Radama.

Sur les récifs les plus exposés à la houle venant d'entre Nord et Cuest, la crête externe comporte assez fréquemment des têtes de nègre (*negro heads*) : ainsi, sur les récifs N, NW et W de Kalakajoro (fig. 3), île la plus directement battue (fig. 2). A Antany Mora (fig. 5 et pl. XX A), les têtes de nègre sont également bien développées sur le récif W; au récif N, il y en a aussi sur la face NW, mais la face NE en est dépourvue. Le plan de vagues (fig. 2), rend parfaitement compte de cette répartition. A Berafia (fig. 4), le récif N en comporte sur sa face W, mais pas à la pointe N qui est protégée par Kalakajoro, et dont la crête externe n'est qu'un banc de sable et de gravier. Là encore, la figure 2 explique fort bien les choses. Le récif NW de Berafia a aussi

des têtes de nègre, mais guère le récif W dont l'orientation est moins adéquate. A Nosy Valiha (fig. 6), il n'y en a nulle part, parce que cette île est abritée par Antany Mora, et surtout parce que la divergence des crêtes de houle abordant cette île est beaucoup plus forte qu'à toutes les autres îles (fig. 2 : voir les orthogonales). L'amortissement par réfraction est donc beaucoup plus grand. Ainsi, la répartition des têtes de nègre est parfaitement logique. Ces têtes de nègre n'atteignent cependant nulle part de grandes tailles : il est peu fréquent de les voir dépasser 1 m dans leur plus grande dimension, ce qui répond à l'amortissement de la houle par la barrière extérieure, et au fait que la houle de direction présumée moyenne ne donne pas de convergences importantes sur les îles, sauf, en une certaine mesure, sur le NNW de Kalakajoro. Les têtes de nègre n'ont, bien entendu, pas été détachées par les vagues ordinaires, mais au cours de tempêtes exceptionnelles.

Il arrive, en quelques points, que la crête détritique externe fasse défaut sur les récifs face à la houle. C'est ce qui est réalisé, au moins par endroits, au récif N de Nosy Valiha (fig. 8, D), où du corail vivant existe en assez grande abondance au sommet, en une position où il est généralement très rare. Au récif NW de Nosy Valiha, il y a bien une crête externe détritique (fig. 7, et fig. 8, E), mais pratiquement sans têtes de nègre, peu développée, et un peu moins élevée que certaines parties du bioherme externe. Ces anomalies sont à attribuer à la position abritée de Nosy Valiha et à la forte divergence des crêtes de houle qui l'abordent.

La crête externe présente presque toujours quelques interruptions ou rentrants, dont les principaux sont dus à l'influence des accumulations sableuses en arrière (voir plus loin), mais dont d'autres n'ont pas une origine évidente : ainsi, au récif N de Kalakajoro (fig. 3) et au récif N de Berafia (fig. 4). A ce dernier, un massif vivant important se trouve sur le bord NE de l'échancrure, à l'intérieur de la crête externe, et affleure même par des marées de coefficient 85. Au récif N d'Antany Mora, la face NE de la crête externe présente une disposition en échelon (fig. 5). Inversement, le récif W de Berafia montre, en son centre, une avancée en éventail (fig.4), qui pourrait bien être due à l'existence d'un mamelon ou promontoire basaltique sous-jacent, recouvert d'une faible épaisseur de construction récifale. En effet, en face de cet éventail existent des pointements basaltiques interrompant la plage de sable de haut d'estran. L'un de nous a déjà insisté antérieurement (Guilcher, 1956, p. 127-129) sur la faible épaisseur probable des récifs du NW de Madagascar en général.

*Les chenaux d'embarcations (boat channels).*

Les chenaux d'embarcations, ou lagons de récifs frangeants, ne diffèrent pas essentiellement de leurs congénères de la côte NW de Madagascar (Guilcher, 1956). Comme eux, ils sont très peu profonds, et seulement enfoncés de quelques décimètres en-dessous des crêtes externes, de sorte qu'il n'y reste que 0 à 0,70 m d'eau à très grande basse mer (fig. 8) ; comme eux, ils sont essentiellement détritiques en surface, avec cependant des affleurements de corail mort en position de croissance, et sont occupés, sur la plus grande partie de leur superficie, par des prairies de Cymodocées, entrecoupées de mares dans lesquelles les Cymodocées tendent à manquer et où vivent de petites colonies de corail isolées. Sur certains récifs (N d'Antany Mora : fig. 8 A ; N de Kalakajoro ; NW de Nosy Valiha), la partie la plus profonde est celle immédiatement adjacente au bas de plage leur faisant suite vers l'intérieur : cette partie est alors d'environ 0,40 plus basse que le reste, et comporte davantage de têtes vivantes.

L'examen des chenaux d'embarcations des Iles Radama a permis d'analyser de nouveaux exemples de mares dans les prairies de Cymodocées (Guilcher, 1956, p. 117). Rappelons que ces mares ont tendance à former des croissants convexes du côté de l'extérieur, avec bord raide de ce côté et pente douce vers l'intérieur. En d'autres cas, elles forment de longs alignements parallèles entre eux et à la direction générale d'allongement du récif. Les plus caractéristiques sont sur la partie la plus avancée du récif W de Nosy Valiha (fig. 6), et sur les récifs N, NW et W de Kalakajoro (pl. XIX, B et fig. 3), nos figurés indiquant schématiquement leur disposition. Il y en a aussi aux récifs N et W de Berafia. Il en existe aussi de typiques à Antany Mora (pl. XX, B), mais, d'une façon générale, elles y sont moins régulières. Nos nouvelles observations ont fait saisir le processus probable d'élaboration. Au moment où la mer est encore assez haute pour que les vagues puissent franchir la crête externe, le passage des vagues dans le lagon détermine dans les mares un mouvement tourbillonnaire du type de la figure 9, qui provoque un affouillement du bord externe, donc sa dissymétrie. Il suffit de légers creux préalables, qui localisent ces mouvements tourbillonnaires et sont accentués par eux. La mare tend donc à se déplacer lentement vers le large, avec remblaiement concomitant et colonisation végétale progressive du bord interne. Il en existe parfois aussi, avec prairies de Cymodocées intercalaires, sur le versant extérieur de la crête externe, entre celle-ci et l'endroit où le récif vivant occupe l'essentiel de la surface du fond.

Sur le versant intérieur de la crête externe, c'est-à-dire dans la partie extérieure du chenal d'embarcations, se voient en divers endroits

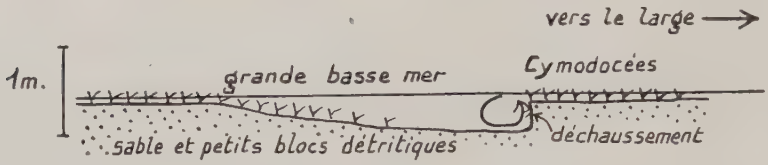



Fig. 9. — Coupe schématique d'une mare dans la prairie à Cymodocées, montrant le mouvement de l'eau lors du passage d'une vague.

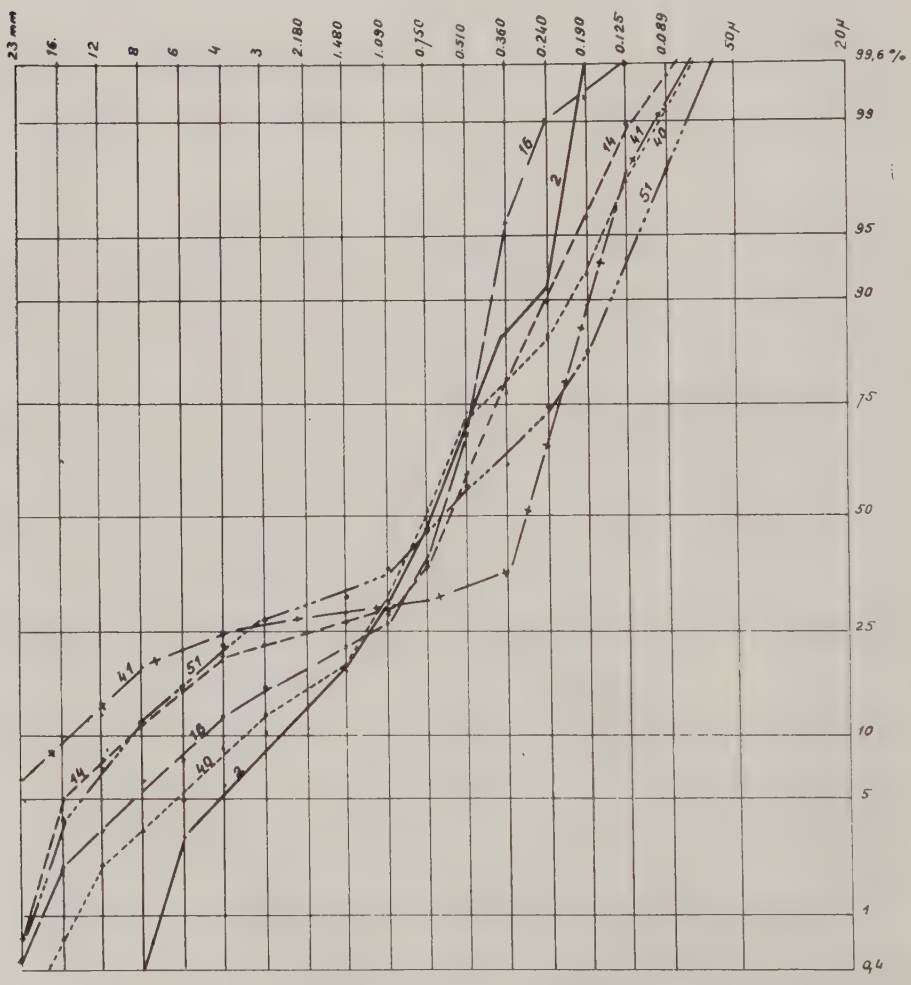



Fig. 10. — Courbes granulométriques de sédiments de crêtes externes et de chenaux d'embarcations (voir le répertoire des prélèvements à l'appendice et la localisation des chiffres sur les figures 1, 3, 4, 5, 6, 23, 26 et 30).

des stries détritiques perpendiculaires à la direction générale du récif, analogues à celles d'autres récifs de cette région (GUILCHER, 1956, notamment p. 89-90). Ces stries sont à attribuer, elles aussi, aux vagues.

Du point de vue granulométrique, les sédiments sableux des crêtes externes et des chenaux d'embarcations se ressemblent beaucoup entre eux sur les récifs des quatre îles (fig. 10). Tous comportent environ 30 à 35 % (en poids) de grains atteignant ou dépassant 1,090 mm, et les grains les plus fins sont toujours de taille supérieure à 50 microns ; il n'y a pas de différence systématique entre crêtes externes d'une part (n° 16, 41) et chenaux d'embarcations d'autre part (2, 14, 40). Ces sédiments sont nettement plus hétérométriques que ceux des plages, que nous examinerons ensuite (fig. 11 et 12).

*Les plages et deltas de plage.*

Les plages situées en arrière des prairies de Cymodocées sont dépouillées de végétation, et leur montée vers la laisse de haute mer est sensible, alors que la prairie de Cymodocées est presque plate en dehors des mares (voir par exemple fig. 8, E).

Du point de vue topographique, leur principal caractère est de comporter des cônes aplatis qu'on peut nommer deltas de plage (pl. XIX, B), et auxquels nous affectons un signe spécial sur les figures 3 à 6. Ces cônes fonctionnent de la façon suivante. La plage s'appuie, à son extrémité interne, à un cordon littoral barrant, en règle générale, une dépression interne, dans laquelle la mer pénètre plus ou moins à grande marée haute par une ou plusieurs passes (pl. XIX, B). Lors du jusant, le courant sortant par ces passes étale en avant les sédiments de la plage en leur donnant une forme de delta. Le plus remarquable delta de plage est celui de la grande plage Ouest de Berafia, construit en fonction d'une passe du cordon plus importante que d'ordinaire, et où la mer pénètre, par exception, même en morte eau ; en grande marée, la lagune en arrière est assez facilement accessible à des embarcations de 0,80 m de tirant d'eau. Un autre delta, sur la plage NW de Berafia, forme une saillie de 1,20 m par rapport à la plage de part et d'autre. Il est vraisemblable qu'en saison des pluies, les deltas fonctionnent en partie sous l'influence de l'écoulement fluviatile qui emprunte les principales passes du cordon. D'autres passes sont dues au débordement des vagues par forte mer en grande marée.

La granulométrie du sable des plages et deltas de plage au vent offre en général des caractères uniformes, et bien différents de ceux des sables des crêtes externes et chenaux d'embarcations à Cymodocées. Les courbes des échantillons prélevés à Berafia (fig. 11, n° 1, 3,

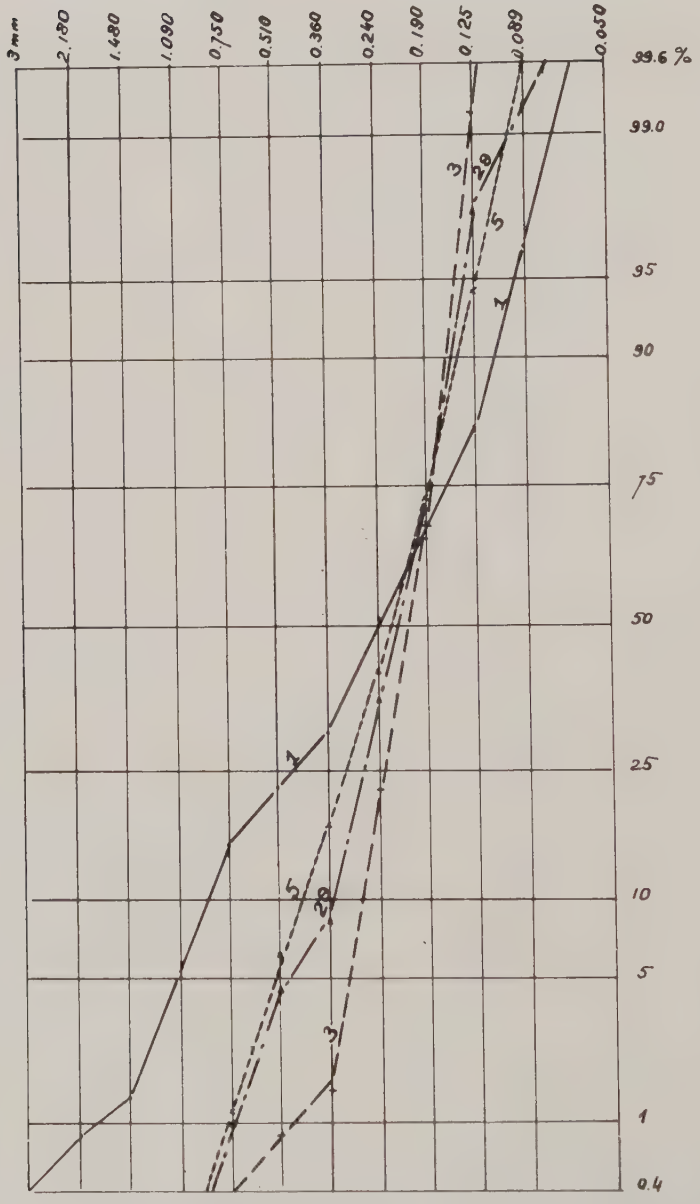



Fig. 11. — Courbes granulométriques de sédiments de plages de Berafia (même remarque qu'à la figure 10).

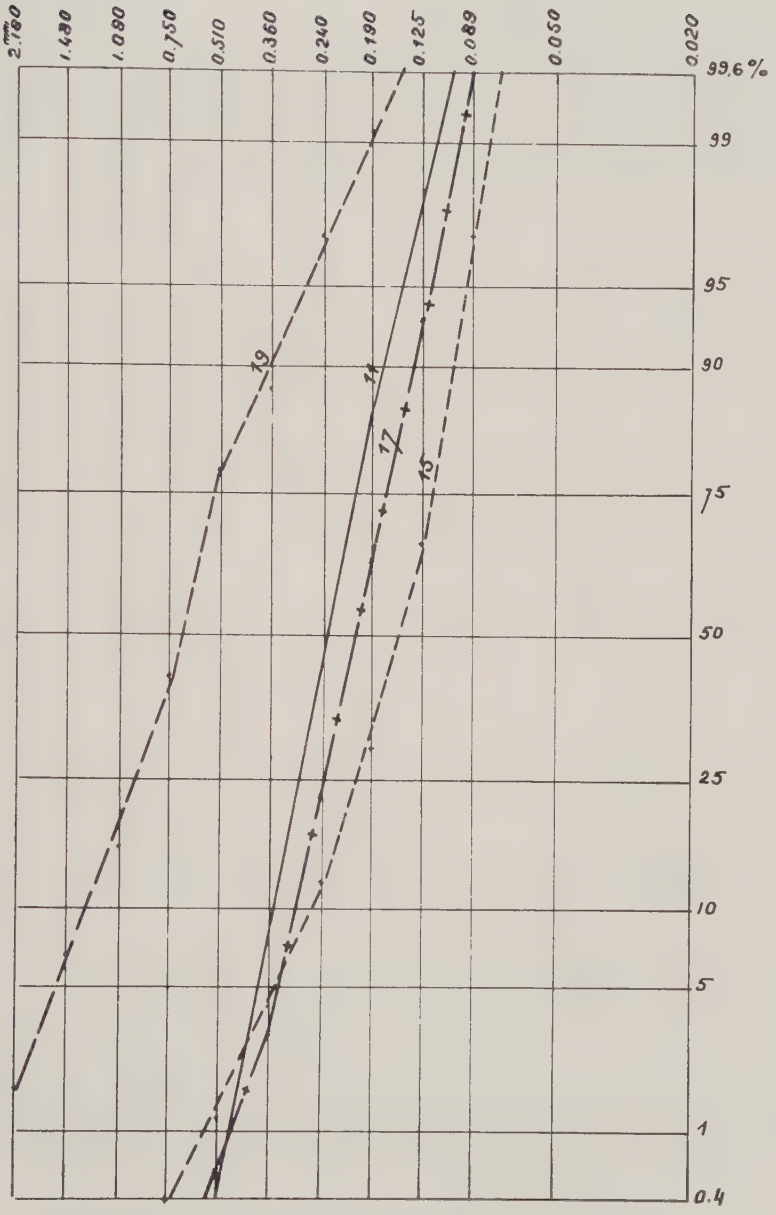



Fig. 12. — Courbes granulométriques de sédiments de plages de Kalakajoro et Antany Mora (même remarque qu'à la figure 10).

5 et 29), à Antany Mora (fig. 12, n° 15 et 19) et à Nosy Valiha (fig. 13, n° 34, 35 et 38) montrent que chaque sédiment est fortement homométrique, c'est-à-dire présente peu de différences dimensionnelles entre les éléments de tailles extrêmes. Le contraste avec les sédiments des crêtes externes et chenaux d'embarcations (fig. 10) porte essentiellement sur l'élimination, dans les plages et hauts de plages, des éléments les plus grossiers (plus de 3 mm) qu'on rencontre plus à l'extérieur en quantités importantes ; la limite dimensionnelle inférieure est, par contre, à peu près la même. Il n'y a cependant pas identité complète d'une plage à l'autre, surtout à Nosy Valiha (fig. 13) où, sur la côte

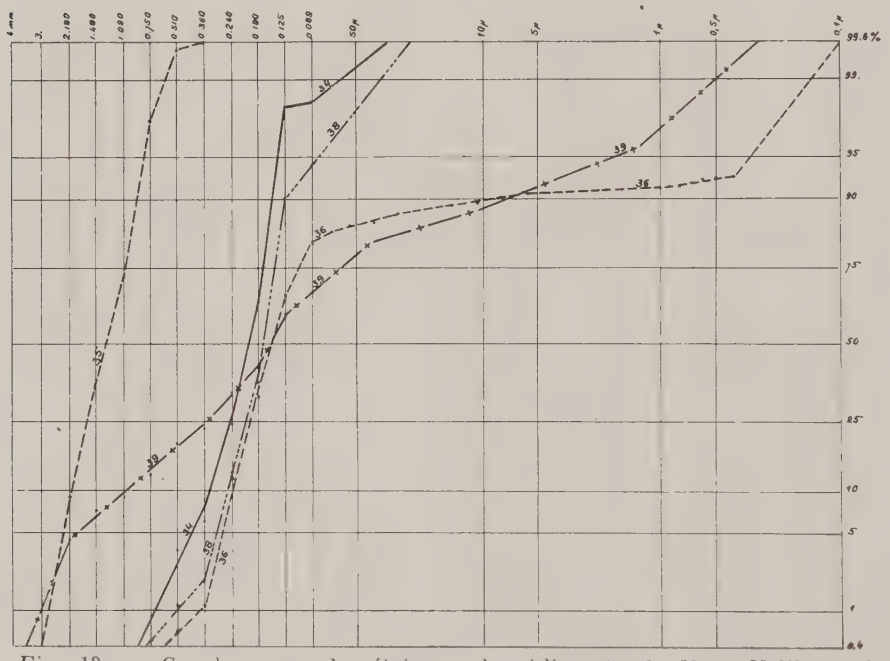


Fig. 13. — Courbes granulométriques de sédiments de Nosy Valiha (même remarque qu'à la figure 10).

SW, on rencontre des plages à faciès fin (n° 34) et des plages à faciès grossier (n° 35) qui alternent constamment en haut de l'estran. En outre, Nosy Valiha a fourni un sédiment de plage aberrant près de la pointe W (fig. 13, n° 39), avec une courbe exceptionnellement étendue vers les très petites dimensions, qui fait de ce dépôt un sable vaseux ; mais la limite dimensionnelle supérieure reste la même que dans les autres sables de plages au vent.

Les deltas de plage ont une très grande importance dans la morphologie récifale, car la largeur du récif est commandée par leur réparti-

tion : là où ils existent, le récif se rétrécit considérablement, ou même disparaît, certainement par suite de l'excès de matériaux sableux qui gêne la vie corallienne. On le voit par exemple devant le delta de la grande plage Ouest de Berafia (fig. 4) ; à Kalakajoro (fig. 3), où le delta de la plage Nord est responsable de la brèche existant entre les récifs Nord et Nord-Ouest ; à Antany Mora (fig. 5), où la passe entre les récifs Nord et Ouest correspond au delta de la plage Nord (pl. XIX, A) ; et sur la côte SW de Nosy Valiha (fig. 6), où les deltas, correspondant au débouché de petits cours d'eau de l'île, déterminent des indentations dans le bord du récif. On remarquera le déjettement des deltas vers le Sud, conséquence de la dérive littorale liée à la houle de NNW qui frappe obliquement cette côte (fig. 2). Le déjettement est de même sens au delta Sud de la plage NW de Nosy Valiha ; et toutes les passes des plages NW et SW de cette île sont obliques. Par contre, l'interruption du récif dans le Nord de la plage NW de Nosy Valiha ne correspond pas à la position actuelle du delta Nord de cette plage, étant située plus au Nord. Il est probable que la passe dans le cordon se trouvait autrefois en face de l'interruption du récif, car le cordon présente à cet endroit un ensellement. Le delta actuel serait relativement récent, et encore sans effets morphologiques importants sur le récif.

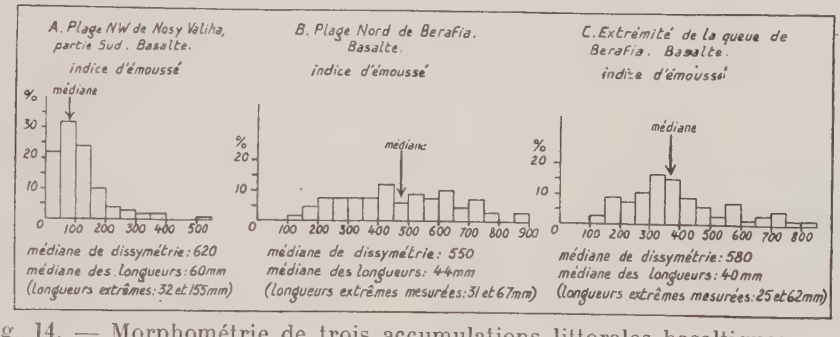



Fig. 14. — Morphométrie de trois accumulations littorales basaltiques.

Au droit des rentrants ou passes des bordures externes des récifs, il y a parfois un banc de sable dont la partie la plus haute (en somme, la crête externe à cet endroit) est rejetée vers l'intérieur (passe NW d'Antany Mora, fig. 5 ; face W de Kalakajoro, fig. 3, et pl. XIX B, arrière-plan). Ce banc n'est pas un delta de plage, mais se trouve plus en dehors. La pente longue vers l'extérieur à partir du sommet du banc est indiquée par des flèches sur la figure 3.

Les parties hautes des plages, et même parfois leurs parties moyennes, portent des accumulations de petits blocs de basalte ou de trachyte. Le façonnement de ces petits blocs est très variable : en certains cas, ils

ne sont pas usés ; en d'autres cas, ce sont de véritables galets. Les deux types apparaissent sur les histogrammes de la figure 14 A et B, localisés par la lettre b sur les figures 4 et 6 (pour la notion d'indices d'émoussé et de dissymétrie, et les méthodes statistiques permettant de construire de tels histogrammes au moyen de mesures sur le terrain, voir Cailleux 1945 ; Cailleux et Bouillet, 1947 à 1949 ; Berthois, 1950 et 1952, Tricart et Schaeffer, 1950). Comme l'a déjà fait remarquer l'un de nous (Berthois), la précision des mesures diminue avec la taille, de sorte qu'il importe de dire la longueur des galets mesurés. Les indications de la figure 14 montrent qu'il s'agit, surtout en B, de petits galets. Il ne faudrait donc pas faire ici état de faibles écarts entre les deux formations, mais il est évident que les indices d'émoussé sont considérablement différents : alors qu'il n'y a pas de galets d'indice d'émoussé inférieur à 100 dans la formation B, ceux de A ont leur médiane d'émoussé entre 50 et 100. Les différences de dissymétrie sont également bien nettes. Seule la formation B est donc constituée de véritables galets. En A, il s'agit en réalité d'un cône de déjection du torrent aboutissant dans le Sud de la plage NW de Nosy Valiha, et mis en place avant que le cordon de sable ait acquis sa forme actuelle : les petits blocs montrent seulement aujourd'hui une légère tendance à la migration en crête oblique vers le Sud. Le fait qu'ils se divisent facilement suivant leurs diaclases est un facteur nuisant beaucoup à la réalisation d'indices d'émoussé élevés. De même, les amas de petits blocs de la côte SW de Nosy Valiha (fig. 6) sont chacun un cône de déjection de petit torrent, ou plutôt la partie externe de cônes de déjection. Les parties internes sont en-deçà de la ligne de rivage. La seule action de la mer a été ici (fig. 15) le redressement d'une partie des blocs qui sont dans son domaine, de façon à former une levée littorale à laquelle succède vers le bas une courte accumulation sableuse. Le façonnement beaucoup plus poussé des petits blocs de basalte sur la grève Nord de Berafia correspond à une exposition meilleure à la houle dominante.

*Les crêtes de plage successives et les mangroves intercalaires.*

Les principales plages des côtes orientées entre Nord et Ouest se sont logées dans des parties basses de la topographie continentale qu'elles ont colmatées (plages N et W de Kalakajoro, NW et W de Berafia, N d'Antany Mora, et surtout, la plus grande, NW de Nosy Valiha). Le colmatage s'est effectué par multiples crêtes de plage parallèles et successives, avec sillons intercalaires. Les sillons les plus internes sont asséchés et cultivés ; ceux où pénètre encore la marée possèdent de petites mangroves. Les crêtes successives sont sableuses, sauf

la plus interne des crêtes de la plage NW de Nosy Valiha qui est formée de galets de basalte. Sur la mise en culture de ces petites plaines, nous renvoyons à GUILCHER, 1957. L'étude granulométrique des sédiments de mangroves intercalaires est groupée plus loin avec celle des sédiments de mangroves des queues détritiques de la zone d'abri.

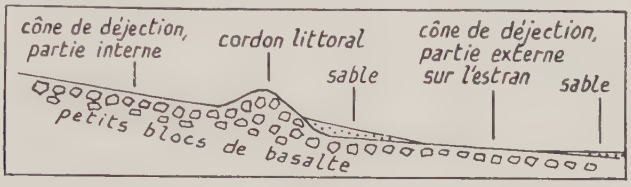



Fig. 15. — Morphologie littorale dans les petits cônes de déjection de la côte SW de Nosy Valiha.

*Extrême réduction des récifs frangeants des côtes Est.*

Le corail vivant et les accumulations détritiques associées ne sont pas absents des côtes orientales des îles ; mais, comme on pouvait s'y attendre du fait de l'exposition, les récifs sont, en règle générale, très étroits et embryonnaires de ce côté. La figure 8C donne un exemple pris dans le SE de Berafia. Il n'y a pas de chenal d'embarcations nettement apparent, ni de crête externe détritique. Dans le NNE de Berafia, le récif n'a qu'une quarantaine de mètres de large. Une raison supplémentaire d'étroitesse est que les côtes Est sont souvent au pied des fronts de cuestas, de sorte que la pente sous-marine pré-corallienne est plus forte. Au total, la largeur des récifs est un fidèle reflet des conditions de la construction récifale, et ses variations apparaissent au mieux à Kalakajoro, île non influencée par ses voisines (fig. 3) : largeur maxima au NNW (convergence des crêtes de houle), moyenne à l'W, et quasi-nulle dans l'E, abstraction faite, bien entendu, de la queue de sable.

Il existe aussi des hauts d'estran de roche en place aux Iles Radama. Les formes structurales qui y sont réalisées dans les roches volcaniques sont extrêmement intéressantes, mais, comme elles n'ont aucun rapport avec les récifs coralliens, nous en réservons la description pour une autre publication dans les *Mémoires de l'Institut scientifique de Madagascar.*

### 3. Les queues détritiques de la zone d'abri

Trois des îles possèdent, dans leur zone d'abri arrière, des accumulations triangulaires du type des *cuspate forelands* de la terminologie

américaine (JOHNSON, 1919, p. 322). La quatrième, Berafia, comporte une queue détritique filiforme. Il faut décrire séparément ces deux types d'accumulations.

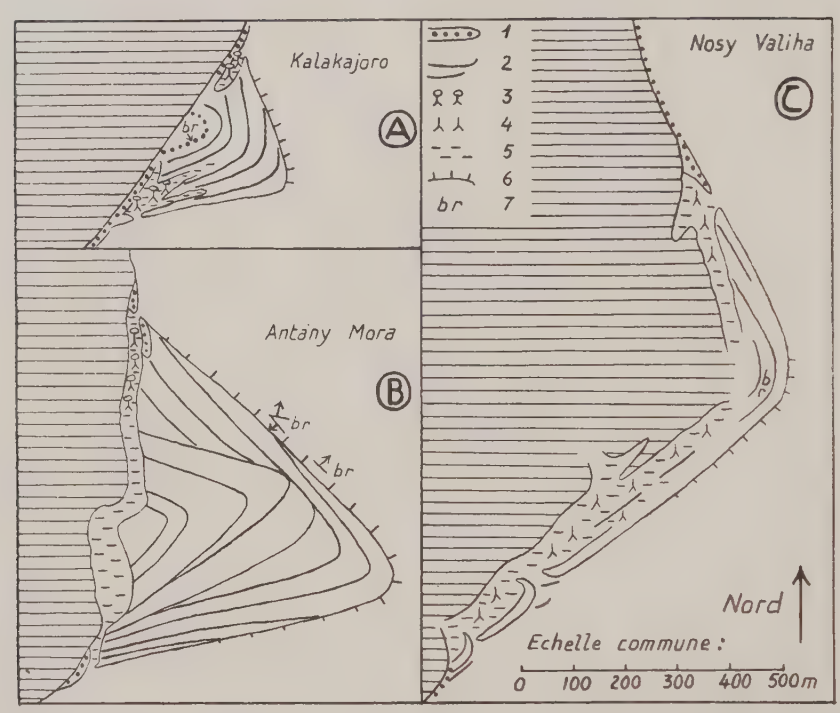



Fig. 16. — Queues détritiques de Kalakajoro, Antany Mora et Nosy Valiha. — 1 : galets de basalte ou de trachyte ; 2 : crêtes de sable sucessives ; 3 : mangrove ; 4 : mangrove morte ou moribonde ; 5 : dépression interne entre crêtes ; 6 : sapement actuel (1956) du cordon littoral ; 7 : beach-rock.

*Les pointes triangulaires* (fig. 16).

Aux trois îles de Kalakajoro (pl. XXI, B), Antany Mora (pl. XXI, A) et Nosy Valiha (pl. XXII, A), les pointes triangulaires sont formées de sédiments accumulés en crêtes de plage successives. La queue est toujours localisée dans le SE ou l'E de l'île. Le plan de réfraction (fig. 2) justifie bien cette position pour chaque île. Dans les trois cas également, il existe, aux enracinements NE et SW ou à proximité immédiate, une passe dans la crête la plus récente, faisant communiquer avec la mer, à grande marée haute, une dépression interne colonisée par une petite mangrove, qui s'atrophie à mesure qu'on s'éloigne de la passe. A Nosy Valiha, la mangrove est morte ou moribonde en toutes ses parties. Les passes n'empêchent pas la migration du sable

vers l'extrémité des pointes, puisqu'elles n'existent qu'au niveau des hautes mers. L'existence de passes entraîne celle de deltas de plage, semblables à ceux des plages de l'autre face des îles, et très bien caractérisés à Antany Mora (fig. 5) et à Nosy Valiha (fig. 6), où ils provoquent des avancées du bas de la plage avec déjettement vers l'extrémité de la pointe triangulaire. En outre, la queue d'Antany Mora, plus importante que les autres, est continuée par un vaste banc de sable à prairies de Cymodocées (fig. 5). Les crêtes de plage les plus anciennes sont souvent formées de galets de basalte (Nosy Valiha) ou de trachyte (Kalakajoro, Antany Mora). Les autres sont entièrement sableuses. Du beach-rock ou grès de plage existe entre certains galets de trachyte de Kalakajoro, et consolide certaines parties du sable des deux autres pointes (fig. 16). Toutes les pointes sont plus ou moins boisées.

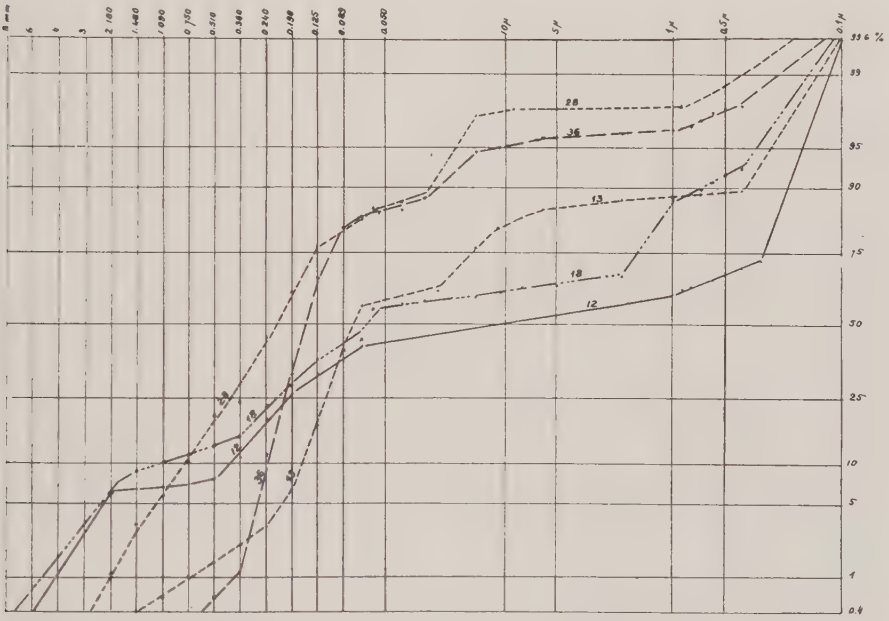



Fig. 17 — Courbes granulométriques de sédiments de mangroves (même remarque qu'à la figure 10).

Les prélèvements faits sur les hauts de plage des queues détritiques d'Antany Mora (fig. 12, n° 17) et de Kalakajoro (fig. 12, n° 11) montrent que le sable de ces plages sous le vent présente exactement les mêmes caractères granulométriques que le sable des plages au vent : grande homométrie, c'est-à-dire très bon classement par les vagues. D'autres prélèvements ont été faits dans les mangroves (fig.

17) des queues d'Antany Mora (n° 18), Kalakajoro (n° 12), Nosy Valiha (n° 36), et sont comparés, sur la même figure, aux prélèvements faits dans des mangroves derrière des plages au vent de Berafia (n° 28) et de Kalakajoro (n° 13). On voit que les courbes granulométriques de ces cinq sédiments de mangroves sont du même type, malgré des différences relativement importantes dans le pourcentage des éléments fins. Dans tous les cas, il s'agit de vases assez fortement sableuses, le sable venant évidemment des plages voisines, et peut-être aussi de l'intérieur des îles ; les courbes sont beaucoup plus étalées dans le sens dimensionnel que celles des plages (fig. 11 et 12), du fait du fort pourcentage des éléments inférieurs à 50 microns (environ 50 % dans 3 des 5 échantillons), qui sont absents sur les plages. La vase de la mangrove Nord de la queue de Kalakajoro (n° 12) est remarquable par le pourcentage très élevé des éléments égaux ou inférieurs à 1 micron, ce qui n'empêche pas cette vase de contenir plus de 5 % d'éléments égaux ou supérieurs à 2, 180 mm.

L'orientation des crêtes successives est d'une grande importance, car elle permet de suivre l'évolution des pointes. Dans les trois îles, on constate que les premières crêtes s'orientaient plus vers l'Est que les dernières, qui s'avancent davantage vers le SE. A Kalakajoro, la rotation s'est opérée progressivement ; à Antany Mora, le changement est plus brusque ; à Nosy Valiha, l'évolution est moins nette, mais elle est cependant attestée par le recoupement, sur la face NE, d'une crête ancienne par le rivage actuel. L'évolution consiste actuellement en une érosion de la partie Nord des pointes et en un engraissement de leur partie Sud à Kalakajoro et à Antany Mora, où l'érosion des flancs Nord est démontrée par le rapide déchaussement des arbres (filaos) de ce côté (pl. XXII, C). Le lieu d'érosion, déterminé de la même façon, n'est cependant pas tout à fait le même à la queue de Nosy Valiha, décidément un peu aberrante : c'est la partie Est de la face Sud qui est attaquée. Toutefois, le SW s'engraisse là comme ailleurs, et il n'y a donc pas opposition véritable.

L'étude de l'évolution se complète par la considération du beach-rock d'Antany Mora (fig. 16, B). A 350 m au NW de la pointe, on a, sur la plage, à 15-20 m du haut de l'estran, deux beach-rocks superposés. Le beach-rock supérieur pend vers la terre, et sa direction est parallèle aux crêtes de plage immédiatement adjacentes au rivage. Le beach-rock inférieur a un pendage vers la mer, et sa direction est presque Ouest-Est. Nous interprétons le beach-rock supérieur comme la consolidation du versant *interne* d'une crête de plage récente, détruite par le recul du rivage Nord ; et le beach-rock inférieur, comme la consolidation de la partie basse de la plage, à l'époque, plus ancienne,

où la flèche pointait presque vers l'Est. Cette interprétation découle du parallélisme de direction des beach-rocks avec les directions respectives des crêtes de plage anciennes dans le promontoire. On voit l'utilité que le beach-rock peut présenter dans les reconstitutions morphologiques.

Ainsi nous avons, dans l'évolution des queues triangulaires, des indices que la dérive littorale et, par suite, la direction moyenne d'attaque de la houle, ont subi des modifications de détail depuis la fin de la transgression flandrienne.

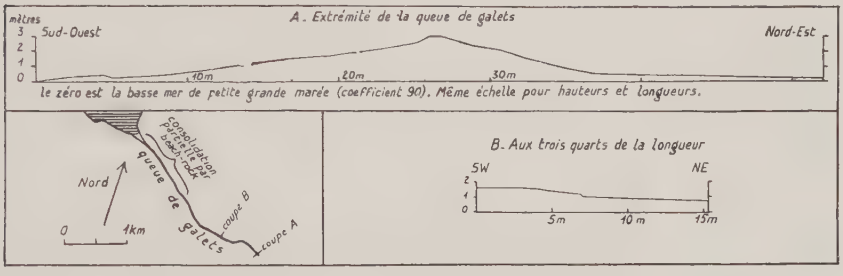



Fig. 18. — Profils transversaux de la queue de galets de Berafia.

*La queue filiforme de Berafia* (fig. 4 et 18, et pl. XXII, B).

La queue de Berafia, qui mesure environ 2700 m de long, est originale par son tracé linéaire et par sa constitution. A l'enracinement, elle comprend d'abord un très court promontoire triangulaire, avec levées latérales et dépression médiane, donc du type précédent, mais seulement sur 150 m. Tout le reste, jusqu'à l'extrémité, n'est qu'une étroite crête. Au-delà de la pointe, et séparé d'elle par un chenal, se trouve un banc également linéaire, d'environ 1 km de long, disposé en échelon par rapport à la queue, mais de même direction qu'elle. Il ne découvre que légèrement aux plus grandes basses mers. D'autre part, la queue n'est pas formée de sable, mais de galets, de nature basaltique pour au moins 99 % d'entre eux, le reste étant surtout du Crétacé venant de l'affleurement du SE de Berafia et se raréfiant vers la pointe, et quelques rares blocs coralliens. Il y a cependant un élément graveleux interstitiel, qui est surtout coquillier. La morphométrie des galets a été faite à la pointe (fig. 14, C) : on voit que la taille est petite (elle est, dans l'ensemble, plus forte plus près de l'enracinement), et que l'indice d'émoussé est élevé, la dissymétrie restant toutefois relativement grande pour une formation marine. Le fort émoussé s'explique par l'assez long cheminement des galets jusqu'à la pointe. Les galets ont été fournis par les petits blocs qui gisent sur l'estran sur les côtes SW et SE, où poussent

quelques palétuviers. Quant au banc au-delà de la pointe, il n'a été vu que de loin ; il paraît formé de sable.

La queue est dissymétrique (fig. 18, A), le versant Ouest ayant une pente plus faible. Cette dissymétrie est générale sur toute la longueur (moyennes de pentes vers la mi-longueur : 5° à l'W, 12° à l'E). Du côté Est, la partie haute de la queue, là où elle n'est pas consolidée, a un profil convexe (fig. 18, B), avec un court ressaut dont la pente atteint au moins 26° par endroits ; puis la pente devient brusquement très faible (1 à 2°) jusqu'au niveau de basse mer. Ce profil en cône de déjection est extrêmement fréquent sur les plages de nombreuses contrées du monde. A la suite d'observations faites à Kalakajoro, nous l'attribuons à la redescente de la vague (*backwash*), pendant la période de jusant. La redescente, beaucoup plus laminaire et moins turbulente que le jet de rive (*uprush*), a pour effet de constituer un talus, sur la pente duquel les éléments les plus gros sont entraînés.

Dans la moitié interne de la queue (fig. 18), les galets ne sont plus tous libres : une grande partie est consolidée par du beach-rock qui sera étudié plus loin (C, 5), et cela aussi bien à l'Ouest qu'à l'Est. Le sapement du poudingue ainsi formé donne lieu à de micro-entablements, des dalles, et parfois de petits encorbellements. Au-delà vers le SE, c'est-à-dire dans la partie la plus récente, les galets sont entièrement libres.

Abstraction faite du petit triangle de l'enracinement, qui est boisé, le point culminant se trouve à la pointe même. Les galets y sont empilés par les fortes vagues au-dessus du niveau d'eau calme des plus hautes mers. Tout à fait au sommet se trouvait, lors de la visite, un petit amas de coquilles. Au pied de la flèche existent de chaque côté des prairies de Cymodocées vivant sur un sable et gravier coquillo - corallo - basaltique, qui repose lui-même sur des galets de basalte. Les courbes granulométriques de ce sédiment (fig. 19, n° 8 et 9) sont tout à fait du même type que celles des sédiments des crêtes externes et chenaux d'embarcations des faces au vent (fig. 10, n° 2, 14, 16, etc) : hétérométrie plus grande que sur les plages, avec, en plus des sédiments de plages qui ne descendent pas ou guère en-dessous de 50 microns, adjonction d'éléments grossiers, au moins au n° 8.

A 60 m au NW de la pointe du côté Ouest, se voit un important massif de corail vivant, et, entre lui et la flèche, de nombreuses petites têtes vivant sur les galets : on peut les déplacer facilement avec le pied, ce qui montre le calme régnant habituellement dans cette zone d'abri. Du corail a donc pris pied sur la queue, mais le récif est évidemment embryonnaire à côté de ceux des zones exposées à la houle.

Un coup d'œil sur les figures 4 et 18 montre que la queue de Berafia n'est pas rectiligne : d'abord NNW-SSE, elle devient ensuite NW-SE, puis, dans sa partie terminale, tend à reprendre sa première direction, qu'on retrouve aussi dans le banc qui la prolonge. On peut penser,

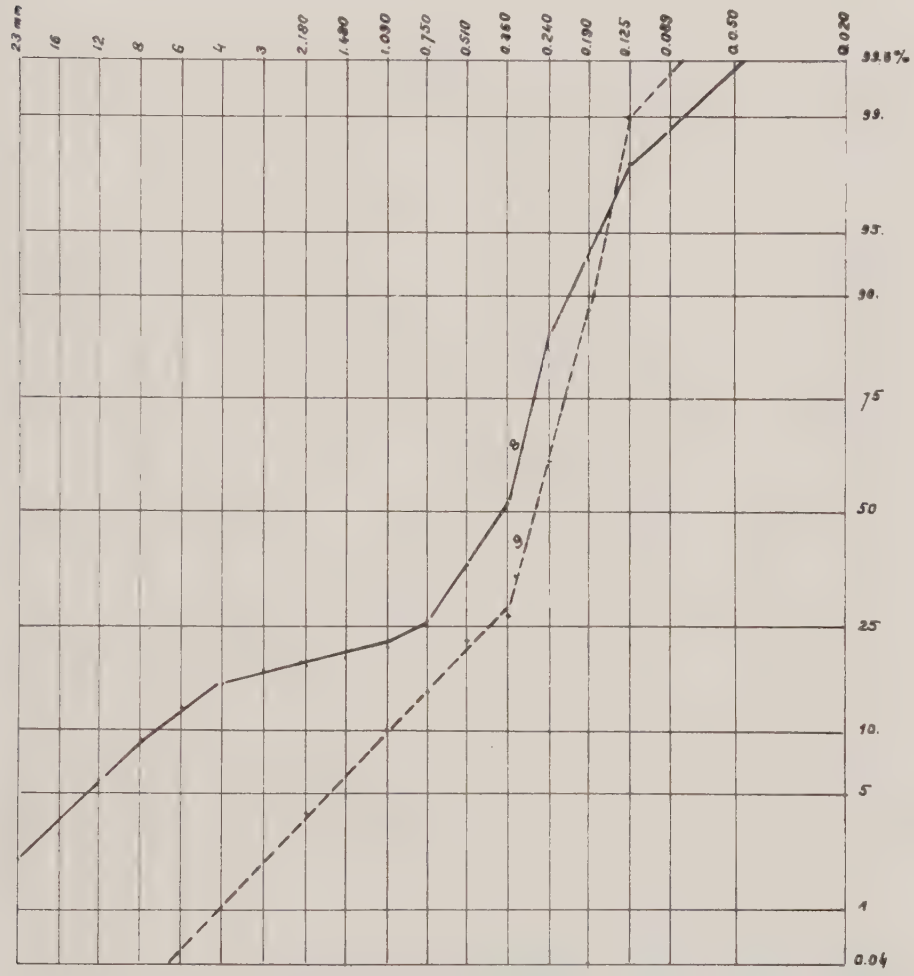



Fig. 19. — Courbes granulométriques de sédiments de la prairie à Cymodocées au pied de la queue de galets de Berafia (même remarque qu'à la figure 10).

comme aux pointes triangulaires de Kalakajoro, Antany Mora et Nosy Valiha, que ces faits sont peut-être dus à des modifications du vent moyen, se traduisant ici par des sinuosités et là-bas par des changements dans la masse même de l'accumulation. Il faut alors admettre

que Berafia nous a conservé un stade antérieur aux deux qui sont représentés dans les trois autres îles ; sa préservation aurait été facilitée par la consolidation de la partie interne de la queue par du beach-rock. Les 2e et 3e stades de Berafia (directions NW-SE puis NNW-SSE) seraient les 1er et 2e stades d'Antany Mora et autres. Rien n'interdit de supposer que le 1er stade de Berafia a pu exister dans les pointes triangulaires, et que tout a été remanié par la suite au lieu de subsister comme à Berafia. Il n'y a pas lieu de chercher un parallélisme absolu dans les directions successives, car les réfractions propres à chaque île font varier ces directions dans le détail : c'est le sens des modifications de direction qui importe.

Mais il faut aussi comparer la queue de Berafia à celle de Nosy Iranja, île située à 38 km au Nord de Kalakajoro et qui a été étudiée en 1954 (GUILCHER, 1956, p. 108-109). Le type d'accumulation est en apparence le même : queue filiforme dans la zone d'abri. Toutefois, les directions successives de cette queue présentent une difficulté : la queue se dirige d'abord vers le SSE, puis vers le SE. Autrement dit, il paraît manquer le 3e stade de la queue de Berafia, que nous avons assimilé au 2e stade des pointes triangulaires d'Antany Mora et autres.

En fait, la difficulté n'est pas insoluble, car la queue de Nosy Iranja est *fourchue*. Ce point avait été négligé lors de l'élaboration du travail précédent, et, sur la figure 17 de notre mémoire de 1956, seule est indiquée la queue pointant vers le SE au-delà de la caye de sable. Mais si l'on se reporte à la photo aérienne n° 25, sur la planche 7 du même mémoire, on voit que, de la caye de sable, se détache une seconde pointe filiforme, moins apparente, donc un peu plus profonde et vraisemblablement plus jeune. Cette pointe va vers le SSE. On la verra indiquée dans le mémoire de GUILCHER, 1958, figure 6. Nous pensons qu'elle représente le 3e stade de Berafia, par adjonction latérale et non, comme à Berafia, par continuation de l'allongement linéaire. On connaît d'autres exemples de queues détritiques à 2 et même 3 pointes sous le vent d'îles : NICHOLS (1948) en a mentionné en Nouvelle Angleterre, dans le port de Boston.

Dans ces conditions, nous concluons avec, semble-t-il, une probabilité raisonnable, que les Iles Radama et Nosy Iranja témoignent de trois directions successives dans le régime moyen de la houle depuis la transgression flandrienne, ces trois directions n'étant, au demeurant, pas très différentes les unes des autres. C'est peut-être en ce sens qu'il faudrait aussi interpréter certains caractères du récif de Nosy Foty, situé plus au Nord (GUILCHER, 1956, p. 91). Nous aurions donc, en définitive, trois types de queues sous le vent dans cette région, en y comprenant Nosy Iranja, et chaque type aurait enregistré les sautes

de vent de façon différente. Rappelons que VERSTAPPEN (1953) a étudié, en Indonésie, d'autres cas d'oscillations d'accumulations coralliennes sous l'influence des variations anémométriques.

### 4. L'abaissement récent du niveau marin

En plusieurs endroits des estrans des Iles Radama, on trouve des fragments de platier de corail mort en position de croissance, qui n'ont pu se constituer qu'en fonction d'un niveau marin un peu plus élevé qu'aujourd'hui. A la pointe NE de Kalakajoro (fig. 3), un tel platier se trouve à 0,30 m plus haut que les têtes de corail les plus élevées qui soient actuellement vivantes. Dans le Nord de la plage NW de Berafia (fig. 4), un autre élément est à 0,35 m plus haut que les coraux vivants ; dans le SW de la même île, près de l'enracinement de la queue, autre élément à + 0,30 m ; dans le Sud du récif Ouest d'Antany Mora (fig. 5), autre élément à + 0,40 m. Cette émersion de 0,30 à 0,40 m est évidemment un minimum, le corail mort en question pouvant ne pas occuper la position la plus élevée possible de l'époque à laquelle il était en vie, et pouvant aussi avoir subi une certaine dégradation. L'enracinement triangulaire de la queue de Berafia pourrait aussi être invoqué en faveur d'une légère émersion.

De plus, à la pointe NE d'Antany Mora (fig. 5), d'assez nombreux rochers de calcaire éocène sur l'estran ont une morphologie d'encoches avec grand surplomb (*visor*) (pl. XXIII A, B, C), bien des fois décrite sur des rivages de régions tropicales, avec accompagnement de lapiés et autres ciselures par corrosion que nous ne décrirons pas ici en détail. Ce qui nous intéresse présentement est que ces rochers comportent deux encoches superposées : l'une, à 0,50 m au-dessus des basses mers de vive eau moyenne ; l'autre, à 1,80 - 2,00 m au-dessus de la première, c'est-à-dire à 2,30 - 2,50 m au-dessus des basses mers de vive eau moyenne. Un tel étagement implique lui aussi une émersion.

Cette émersion est, semble-t-il, à rapporter à l'abaissement eustatique survenu depuis le maximum atteint par la transgression flandrienne, et qui a été induit d'observations sur les côtes les plus variées, surtout celles des pays tropicaux où les récifs coralliens sont des indicatifs particulièrement sensibles. Une bibliographie complète serait trop longue ici. Rappelons pourtant ce qu'en a dit DALY (1934, p. 157-164). L'un de nous (GUILCHER, 1955, p. 74) a groupé quelques références à l'occasion d'observations du même ordre qu'il a faites en Mer Rouge. Il a aussi noté un platier ancien émergé à Nosy Langna, au Sud des Iles Radama (GUILCHER, 1956, p. 119-120). Mentionnons également les

données de P. J. Cloud (1952, p. 47 et 52), relatives à Onotoa (Iles Gilbert), cet auteur se référant à divers travaux pour comparaison. On pourrait allonger la liste. Il serait souhaitable que le niveau de référence fût toujours défini avec précision, et que, pour les régions coralliennes, on prît le niveau de la moyenne des basses mers de grande marée comme l'ont proposé Fairbridge et Gill (1947). Le premier de ces auteurs a donné les altitudes de 10-11, 5-6 et 2-3 pieds au-dessus de ce niveau pour les encoches émergées décrites en Australie occidentale (Fairbridge, 1952), et Cloud parle de 5-6 et 2-3 pieds « au-dessus des basses mers moyennes » à Onotoa. Ici cependant, les encoches sont, d'après nos mesures, à environ 1 pied 8 pouces, et entre 7 pieds 7 pouces et 8 pieds 2 pouces au-dessus des basses mers de grande marée moyenne (c'est à dire de coefficient 95 à 100). La différence est assez sensible, tout en restant, à notre avis, trop faible pour qu'on puisse tirer des conclusions bien assises en faveur de mouvements tectoniques récents. De toute façon, que ces mouvements aient eu lieu ou non, l'attribution des encoches émergées à de hauts niveaux flandriens paraît très vraisemblable. Nous admettons donc une origine eustatique ; la question est de savoir si elle est la seule.

### 5. Le lagon et la barrière immergée

Des sédiments ont été prélevés en deux endroits, à la drague à cône, dans le lagon entre Berafia et la barrière extérieure (localisation sur la fig. 1). Ces dragages n'ont pas été très faciles, les fonds prospectés s'étant révélés comporter d'assez nombreuses petites têtes de corail dans lesquelles la drague s'accrochait et risquait d'être perdue.

Les courbes granulométriques des deux prélèvements (n° 25 par fonds de 30-35 m ; n° 26 par fonds de 25-30 m) sont représentées sur la figure 20. Nous les rapprochons, d'une part des courbes des vases de mangroves derrière les plages au vent ou derrière les queues sous le vent (fig. 17), et d'autre part des courbes de trois vases littorales ou sub-littorales (fig. 21) : le n° 4, venant de la côte Nord de Berafia (niveau des basses mers ordinaires) ; le n° 10, venant de la côte SW de Berafia (fonds de 10 m à basse mer) ; le n° 50, venant d'un petit lagon du récif U de la Baie Ramanetaka qui sera décrit plus loin (fonds de 7 m à grande basse mer). On voit que, malgré la très grande diversité de localisation et de profondeur de ces échantillons, les courbes granulométriques sont toutes de la même famille. Toutes ces vases ont des courbes fortement étalées dans le sens dimensionnel, autrement dit elles comprennent à la fois une très notable fraction sableuse et une importante fraction fine.

Quant à la barrière extérieure, le problème qu'elle pose a été indiqué ailleurs (Guilcher, 1956, p. 123-124). La mission aux Iles Radama a offert l'occasion de l'examiner en un nouvel endroit, localisé sur la figure 1, où a été fait un prélèvement. En ce lieu, c'est-à-dire par 14° 04' S, la barrière a bien, comme la carte marine 4379 l'indique, plus d'un kilomètre de large avec seulement 4 à 7 m de profondeur : donc le relèvement est très sensible par rapport au lagon, où il y a 25 à 40 m d'eau. L'essentiel du fond est constitué d'un sable corallo-coquillier dont la granulométrie, au prélèvement unique qui a été fait (fig. 22, n° 24), est du même type que celle des crêtes externes (fig. 10).

Il y a aussi sur la barrière extérieure des têtes de corail, devenant plus nombreuses du côté externe, et couvrant 1/5e à 1/6e de la surface en moyenne (parfois beaucoup moins). Ces têtes sont au moins en partie vivantes. Le corail vivant est ici, en moyenne, plus abondant que sur les parties de la barrière immergées vues lors de la mission de 1954. A l'extérieur, sur la pente menant aux grands fonds du Canal de Mozambique, vit aussi du corail jusqu'à 50 ou 60 m de profondeur au moins. La valeur de cette pente est variable suivant les endroits, tantôt rapide, tantôt assez faible. Tout ceci ne résoud nullement le problème de l'origine de la barrière immergée, qui reste ouvert. Disons cependant que la teneur extrêmement élevée en $CO_3$ Ca de l'échantillon 24 est un élément intéressant à verser au dossier (voir infra, C,1 : teneurs en calcaire).

### 6. Conclusion sur la granulométrie des sédiments des abords des Iles Radama

Du point de vue de leur granulométrie, les sédiments marins des abords des Iles Radama autres que les galets, blocs et ramures de corail détritiques, se classent très nettement, on l'a vu, en trois types :

1° les sables de plages au vent ou sous le vent, à forte homométrie (type : fig. 11 et 12) :

2° les sables graveleux des crêtes externes, des chenaux d'embarcations, du pied de la queue de Berafia et de la barrière immergée, beaucoup moins homométriques, avec, en plus des éléments du premier type, une fraction grossière importante, mais pas d'éléments très fins (fig. 10, 19, 22)

3° les vases, se rencontrant en des lieux et à des profondeurs très variables, depuis les mangroves jusqu'à plus de 30 m de profondeur, avec courbe également très étalée et juxtaposition d'éléments très fins et d'éléments relativement grossiers (fig. 17, 20, 21).

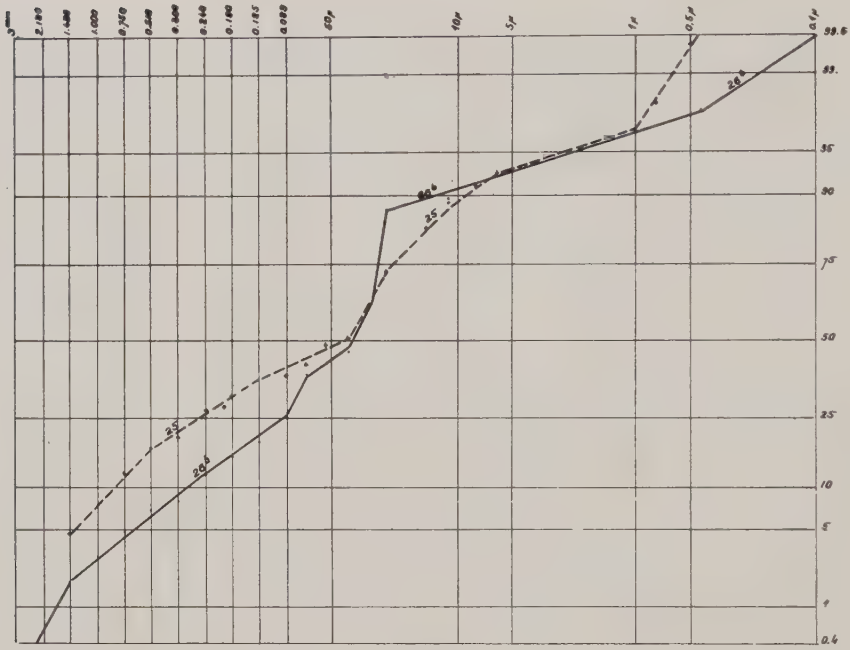


Fig. 20

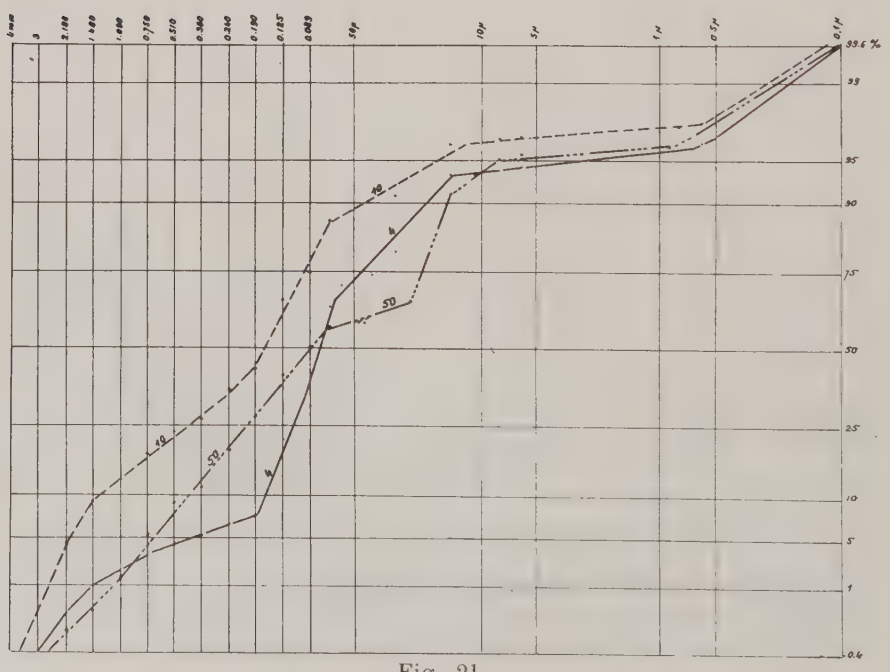


Fig. 21

Fig. 20. — Courbes granulométriques de sédiments vaseux entre Berafia et la barrière extérieure (localisés sur la figure 1).

Fig. 21. — Courbes granulométriques de sédiments vaseux littoraux et de lagon (même remarque qu'à la figure 10).

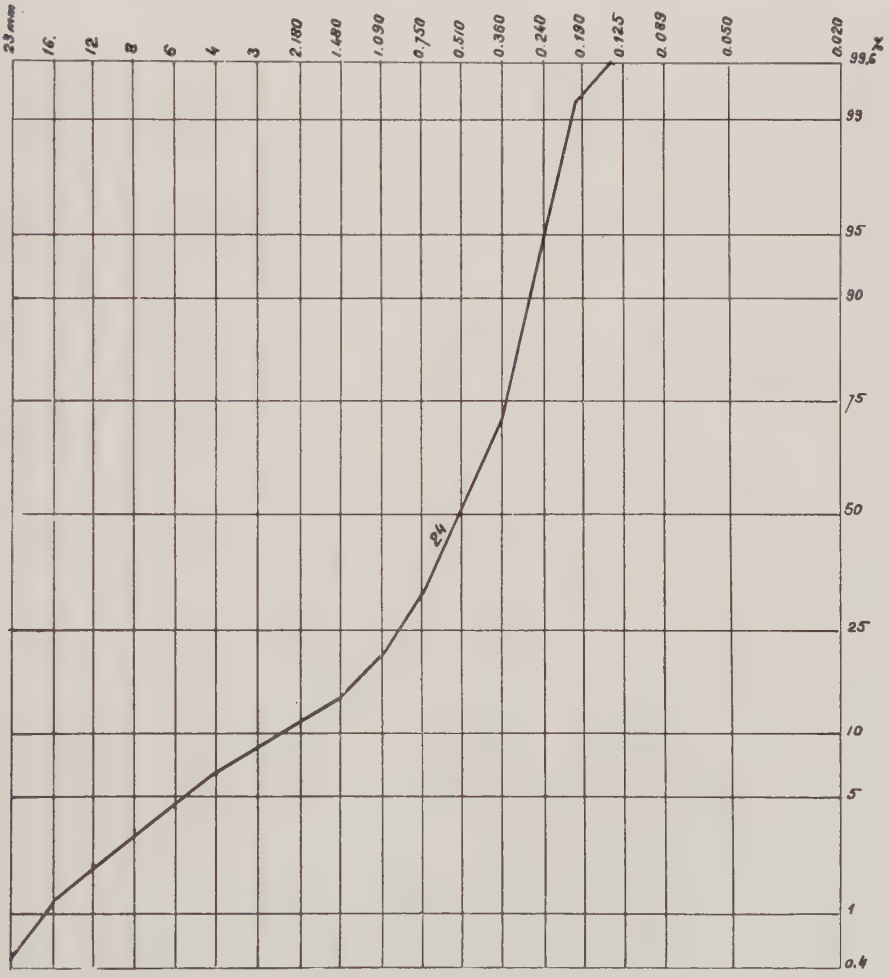



Fig. 22. — Courbe granulométrique d'un prélèvement sur la barrière extérieure (localisé sur la figure 1).

Seul le n° 39 (fig. 13) est intermédiaire entre les types 1 et 3. On verra plus loin que les sédiments recueillis en Baie Ramanetaka rentrent eux aussi dans l'un ou l'autre de ces trois types, à l'exception d'un seul, le n° 52, qui est à rapprocher du n° 39 (sable vaseux). Les analyses granulométriques aboutissent donc à des résultats forts nets et fort intéressants.

## B. — LA BAIE RAMANETAKA

### 1. Caractères d'ensemble

La Baie Ramanetaka est encadrée par des collines de grès crétacés, constituant le revers de la cuesta de Néocomien et Jurassique supérieur (facies de Lavaloalika) qui est représentée sur notre figure 23. Le bassin versant de la baie ne s'étend guère à l'Est de cette cuesta, de sorte que les cours d'eau tributaires sont de faible longueur. Ces cours d'eau ont constitué de petits remblaiements à leurs embouchures, mais les mangroves afférentes sont relativement peu importantes. Sur la figure 23, on peut faire la comparaison avec la mangrove hors de la Baie Ramanetaka, située sur la rive de Port-Radama (angle NE de la carte). En règle générale, il y a un rideau de palétuviers autour de la Baie Ramanetaka, mais souvent sur roche ou blocs rocheux et non sur une vase épaisse. Ces faits vont se révéler importants du point de vue corallien.

La partie externe, occidentale, de la Baie Ramanetaka a été levée du point de vue bathymétrique, mais dans la partie orientale les hydrographes ont capitulé devant les nombreux coraux. En combinant les levés, les photographies aériennes et les observations au cours de notre mission, on peut caractériser approximativement les conditions bathymétriques. Dans l'Ouest les profondeurs dépassent normalement 30 m en dehors des récifs de corail, et atteignent même 77 m en deux points entre Nosy Valiha au Nord et la Grande Terre (Madagascar) au Sud. Dans le NW, les fonds se relèvent à 15 m en moyenne, entre Nosy Valiha et la queue de Berafia. Dans le centre et l'Est, il semble, sans qu'on puisse l'affirmer, qu'il existe une vallée sous-marine partant de la Baie d'Ampombiabo (fonds de 15 à 18 m) et contournant par le Nord les récifs représentés sur la figure 24, pour se raccorder aux fonds de 35 à 77 m au Sud de Nosy Valiha. Il semble aussi que des vallées tributaires de celle-ci partent des cours d'eau se jetant dans la mer à l'Est et à l'Ouest du village d'Ankatafy. Il est enfin possible qu'une autre vallée sous-marine corresponde au cours d'eau aboutis-

Nord
0 1 2km
1
2
3
4
5
A à Y 6
42 à 53 7
Figure 30
Port Radama
Grand Récif
Nosy Valiha
Récif Branchu
Langamena

Fig. 23. — Carte d'ensemble de la Baie Ramanetaka. — 1 : cuesta de grès Néocomien et du Jurassique supérieur ; 2 : mangroves ; 3 : parties découvrantes, ou faiblement immergées à grande basse mer ; 4 : affleurements de Crétacé sur l'estran ; 5 : petits lagons ; 6 : désignation des récifs caractérisés dans le texte ; 7 : prélèvements (les parties couvertes par les cartes de détail 24, 26, 27 et 30 sont indiquées).

sant au Nord de Langamena. En somme, il y a des apparences que la Baie Ramanetaka corresponde à un réseau hydrographique immergé, dont l'exutoire principal, sinon unique, serait au Sud de Nosy Valiha (mais il n'est pas impossible qu'un autre exutoire, aujourd'hui sédimenté, ait existé au Nord de Nosy Valiha).

Quoiqu'il en soit, le caractère essentiel est l'actuelle *prolifération des coraux*. En aucun autre endroit de la côte NW de Madagascar, ni même peut-être de tout Madagascar, la vie corallienne n'est aussi exubérante, et les récifs ne sont aussi nombreux. Ce caractère, qui ressort immédiatement de l'examen des photographies aériennes, et que l'un de nous a signalé (Guilcher, 1956, p. 110), a déterminé notre choix pour la mission de l'été 1956. Cette richesse corallienne est, à première vue, surprenante. On est ici dans un fond de baie, où les vagues sont presque toujours très faibles. Les houles arrivant à passer entre les Iles Radama perdent une énergie considérable par divergence (fig. 2). Ce ne sont pas elles qui peuvent créer les conditions d'agitation favorables aux Madréporaires. Il faut, certes, tenir compte des petites vagues locales levées par la brise de mer, qui ont sûrement une part dans la disposition de maints récifs ; mais elles ne peuvent faire comprendre tant de prolifération récifale.

C'est sans doute que les courants de marée jouent ici un rôle très important. Ces courants sont très sensibles dans la baie ; sans que nous puissons donner de chiffres, il nous est apparu qu'ils provoquaient une dérive importante dans la marche du bateau. C'est à eux qu'on peut attribuer le renouvellement et l'agitation d'eau nécessaires aux coraux. En outre, l'absence de grandes rivières est évidemment un autre facteur favorable : les apports d'eau vaseuse ne sont pas grands.

Au total, les conditions sont exceptionnellement avantageuses : d'une part, l'eau est renouvelée et brassée par des courants de marée comme si les vagues étaient fortes ; d'autre part, les vagues étant faibles, la croissance stimulée par le brassage de l'eau n'est pas contrebalancée par une importante destruction mécaniques des ramures de corail. Il est donc normal d'avoir des récifs poussant rapidement, et où les parties vivantes vont occuper, dans l'ensemble des édifices, un pourcentage beaucoup plus élevé que d'ordinaire.

Les récifs de cette baie sont innombrables, et le moyen le plus sûr de les explorer est d'avancer à l'aviron dans une embarcation à faible tirant d'eau, en se guidant sur les photographies aériennes de l'I.G.N. qui sont le seul document valable. Notre figure 23 est fondée sur elles, mais elle repose sur une certaine simplification et il ne conviendrait pas de l'utiliser pour naviguer : tel n'est pas son but. Nous

n'avons assurément pas vu tous ces récifs de près, mais avons identifié et analysé sur le terrain des exemples des types qui apparaissent sur les photographies, celles-ci permettant une généralisation des observations. Les récifs examinés ont été désignés par des lettres de A à Y, qui sont portées sur la figure 23 et sur les figures de détail 24, 26, 27 et 30. En fait, le nombre de récifs vus est assez grand pour qu'il y en ait plus que de types, ce qui permet d'aller jusqu'aux particularités.

### 2. Les patés et pinacles de corail

La forme en pâtés de corail (*coral patches*) est représentée, dans le centre-Sud de la baie, par les récifs I (fig. 24 et pl. XXV). Sur les

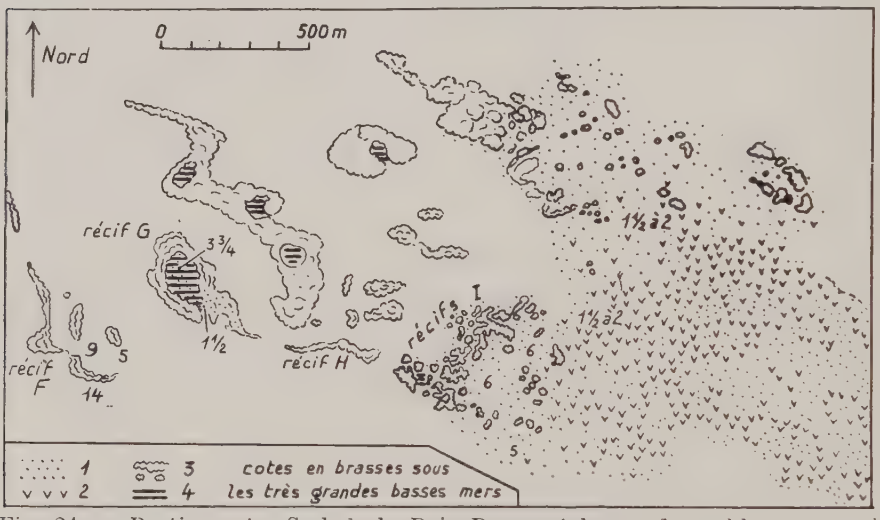



Fig. 24. — Partie centre-Sud de la Baie Ramanetaka. — 1 : sable ; 2 : prairies de Cymodocées ; 3 : récifs vivants ; 4 : petits lagons.

photos, ces récifs apparaissent sous forme de multiples petites taches gris-foncé, entourées d'une auréole très claire qui ressort elle-même sur une teinte générale grise. Le gris-foncé du centre correspond à des pâtés de corail vivant dont le sommet émerge à grande basse mer ; l'auréole claire représente le sommet du fond de sable, vers 3 brasses de profondeur à grande basse mer, à partir duquel se dresse le pâté de corail ; et la teinte générale grise environnante est un fond de sable d'une profondeur de 5 à 6 brasses. La coupe de la figure 25 résume cette morphologie. Ces pâtés multiples ne sont pas sans analogie avec les pinacles de corail (*coral knolls*) qui, dans les lagons de Bikini, d'Eniwetok, de Rongelap et de Rongerik (Iles Marshall), montent de

façon abrupte depuis le fond (Emery, Tracey et Ladd, 1954, cartes hors texte 2, 3, 5, 7 et 8) ; mais ils sont moins élevés, le fond de sable étant ici nettement moins profond que celui des lagons d'atolls océaniques.

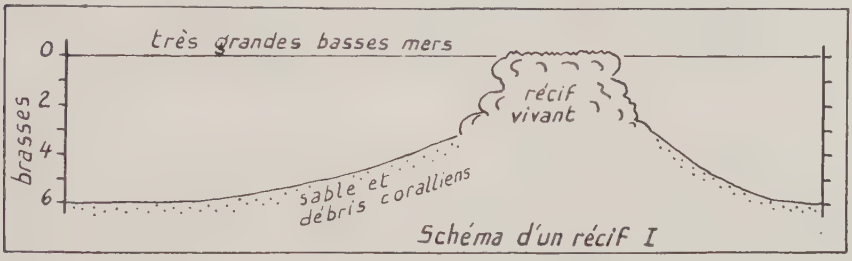



Fig. 25. — Schéma d'un pinacle de corail du centre-Sud de la Baie Ramanetaka (faisant partie des récifs I : voir figure 24).

A l'E et au NE des récifs I, le fond est constitué de prairies de Cymodocées sur sable, avec une profondeur de 1 brasse 1/2 à 2 brasses à grande basse mer. Ces prairies de Cymodocées sont donc sous le vent des récifs vivants, et représentent un stade de colmatage détritique plus avancé et des conditions de vie moins favorables qu'en I, et surtout qu'en H et qu'en G (voir plus loin). Les Cymodocées se raréfient elles-mêmes à leur tour, et l'on passe à un fond nu, puis à la mangrove bordant la pointe qui ferme à l'Ouest la Baie d'Ampombiabo (fig. 23). La partie interne de la zonation est donc de type banal, seule la partie externe est originale.

D'autres pâtés de corail, s'élevant à partir de profondeurs plus grandes jusqu'à la surface en divers endroits de la baie, ressemblent plus complètement à ceux des atolls océaniques des Iles Marshall, et méritent mieux le nom de pinacles. Ainsi les récifs K au Sud du Grand Récif (fig. 30), qui sont disposés en chaîne pour une raison qui nous échappe. Pâtés et pinacles sont, en règle générale, très florissants. Ce sont des récifs *embryonnaires*, avec de multiples cas de transition vers le type suivant qui est un peu plus évolué.

### 3. Les récifs en traînées allongées

On peut qualifier ces récifs d'*élémentaires*, car ils tendent à se combiner entre eux pour donner des récifs du troisième type, décrits ci-après sous le titre 4. Ce sont des récifs étroits (quelques mètres à quelques dizaines de mètres), plusieurs fois plus longs qu'ils ne sont larges, et qui s'étirent, en règle générale, vers l'entrée de la baie. Cette orientation est très nette dans le SE, et est facile à comprendre :

le corail croît dans la direction de renouvellement des eaux par les courants, et aussi dans la zone d'agitation par les petites vagues de brise de mer, cette dernière cause étant vraisemblablement secondaire. Dans le détail, l'orientation des récifs en traînées présente de nombreux cas aberrants, par suite des configurations locales (emplacement des récifs voisins) qui peuvent imposer aux courants de renouvellement des cheminements particuliers.

Parmi les récifs examinés, H et Y rentrent dans ce type. H dans le centre-Sud de la baie (fig. 24, pl. XXIV, A et XXV), est un récif orienté normalement vers l'entrée de la baie, entièrement vivant dans sa partie superficielle, dominant de quelques brasses les fonds sableux qui l'encadrent, et séparé des récifs à l'Ouest et à l'Est par des fonds de quelques brasses également. La partie de la baie où est ce récif est d'ailleurs une des deux plus vivantes de celles que nous ayons vues, l'autre étant à l'Ouest du Grand Récif J. La crête de H émerge de 0,25 à 0,30 m à très grande basse mer. L'aspect est peu coloré ; le récif comprend beaucoup d'Alcyonaires, comme aussi ses voisins.

Le récif Y (fig. 26), dans l'Est de la baie, près de Langamena, est moins complètement vivant, et là encore il s'agit d'un caractère partagé par les récifs voisins. La bordure porte de tous les côtés une riche floraison corallienne, mais la partie médiane est sableuse. La forme générale ressemble à une haltère, l'allongement ne se faisant pas vers l'entrée de la baie mais vers le SW. Des fonds de 7 brasses le séparent du récif à l'Est.

On peut encore citer le récif E (fig. 23, Sud de la baie), constitué par trois traînées de corail s'avançant vers l'entrée de la baie, et se réunissant sous le vent, dans le SE, avec du sable dans cette coalescence. Il y a donc une ébauche de queue de sable sous le vent, ébauche qui résulte des petites vagues de la baie.

### 4. Les récifs a petits lagons multiples

La découverte de ce type de récifs est, pensons-nous, le principal apport de notre mission. Nous ne nous souvenons pas d'avoir lu jusqu'ici, dans la littérature récifale, de description se rapportant exactement à lui.

Les contours extérieurs de ces récifs sont sinueux et de formes très variées. Leur sommet est plat et normalement arrêté à environ 0,30 m au-dessus des très grandes basses mers ; mais dans l'intérieur du récif, se trouvent un ou, plus souvent, plusieurs petits lagons de

quelques centaines de mètres de long au maximum, et parfois moins de 100 m, de forme sinueuse, qui ont plusieurs brasses de profondeur à grande basse mer, dont les bords ont des pentes très raides et dont le fond est plat ou peu accidenté. Plusieurs exemples de récifs à petits lagons apparaissent sur les quatre figures de détail 24, 26, 27 et 30, et sur les planches XXV, XXVI et XXVII. La figure 23 montre leur répartition générale.

L'origine est évidente. Il s'agit de récifs en traînées allongées qui se sont rejoints, et qui ont enclavé des portions du fond. Cette origine est prouvée par l'existence de très nombreuses formes de passage. Ainsi par exemple, sur la figure 24 et la planche XXV le récif F, et sur la figure 30 et la planche XXVII les récifs O, M et plusieurs autres, comportent des lagons encore incomplètement enclavés et à différents stades de fermeture. De même, sur les figures 26 et 28 et la planche XXVI, le récif W. La passe principale de F (fig. 24) a 5 brasses, le lagon en ayant 9. Le récif G, sur la figure 24, a un lagon plus proche de l'enclavement : il ne subsiste qu'une étroite passe au SSE, profonde de 1 brasse 1/2 à basse mer, le lagon ayant 3 br 3/4. Le récif T (fig. 26) a un lagon complètement enclos (c'est-à-dire ne communiquant pas du tout avec la mer à grande marée basse), profond de 3 brasses, et un autre lagon très sinueux, profond de 2 br 1/2 à 3 br 1/2, et communiquant encore avec la mer à marée basse, mais dont le sectionnement en deux lagons complètement isolés n'est pas loin de se produire. Aux récifs S et U (fig. 26), l'évolution est encore plus avancée, et le premier possède trois lagons enclos, profonds de 5 br 1/2, 2 br 1/2 et 3 br 1/2.

Souvent, l'enclavement n'a pas encore provoqué un relèvement très important, par sédimentation, du fond du lagon, dont la profondeur n'est pas très différente de celle des fonds non enclavés avoisinants. Ceci est particulièrement vrai de la région de Langamena (fig. 26), où on le voit en comparant les cotes. Toutefois, ces petits lagons tendent au comblement et, là encore, il y a des exemples de stades successifs. Ainsi, au récif D (fig. 27), entouré de fonds de 7 à 11 brasses, existent deux lagons, l'un, au Sud, où la profondeur est encore de 5 à 6 brasses (même stade que la plupart des lagons proches de Langamena), l'autre, au Nord, où elle n'est plus que de 1 brasse 1/4. Les récifs B et C représentent vraisemblablement un état encore plus avancé, et, dans leur état actuel, ils sont à classer dans un autre type.

Il est très difficile ou impossible de récolter à la drague des sédiments dans ces lagons, car on accroche la drague dans les coraux de la bordure, à moins d'avoir un ramasseur Léger ou un carottier, ce qui n'était pas notre cas. On peut aller chercher les sédiments à la

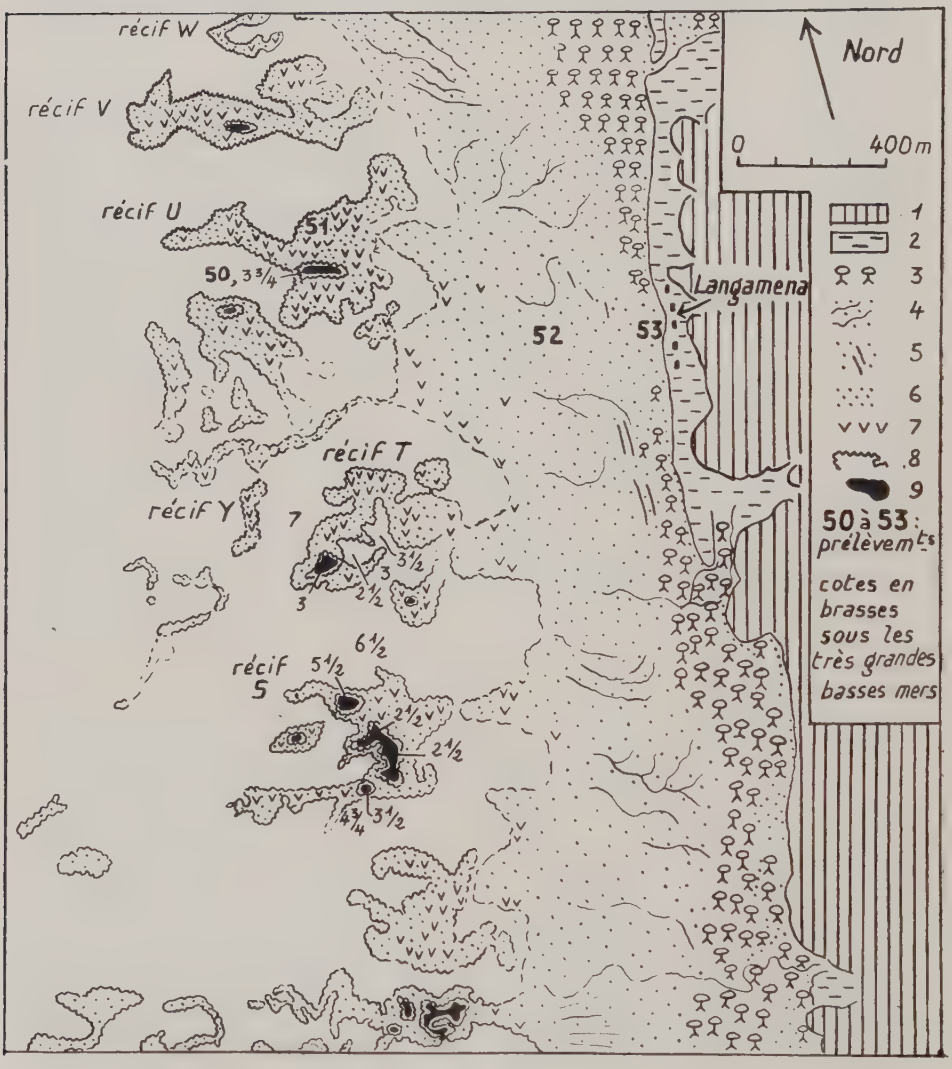



Fig. 26. — Récifs de l'Est de la Baie Ramanetaka, à petits lagons multiples. — 1 : collines ; 2 : plaine littorale ; 3 : mangrove ; 4 : sable et petits chenaux de plage ; 5 : affleurements de Crétacé sur l'estran ; 6 : éléments détritiques sur récifs ; 7 : prairies de Cymodocées ; 8 : couronne saillante de *Porites* et d'*Astraea* ; 9 petits lagons.

main en plongeant, et c'est ce qui a été fait au lagon du récif U, profond de 3 br. 3/4. La granulométrie de ce prélèvement (n° 50) est donnée sur les figures 21 et 29, la première permettant une comparaison avec d'autres vases de la région des Iles Radama, et montrant sa similitude granulométrique avec elles. A l'extérieur du récif U et au Nord de lui, le crapaud de mouillage du bateau a ramené un échantillon du fond ressemblant beaucoup à la vase du lagon, mais qui, malheureusement, n'a pas été conservé. On ne peut pas affirmer que tous les sédiments des petits lagons soient des vases ; il a semblé qu'en certains lagons, notamment au récif D, les sédiments étaient sableux, mais nous n'en avons pas la preuve matérielle.

Dans tous les cas, la vie corallienne est intense sur le pourtour des lagons : le renouvellement de l'eau en dehors de la période de basse mer de grande marée est suffisant pour cela. La descente se fait par grosses têtes surplombantes, la pente moyenne étant d'environ 40° devant Langamena, et de 40 à 45° au récif M (fig. 30).

La structure de ces récifs permet d'y distinguer deux sous-types.

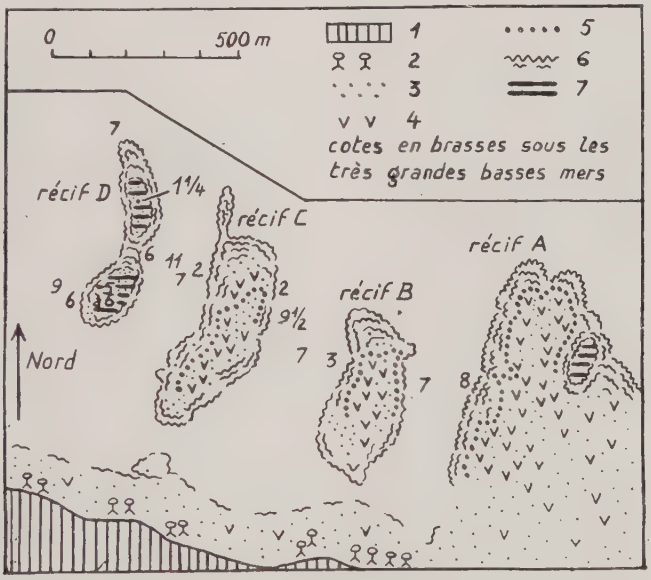



Fig. 27. — Partie des récifs du Sud de la Baie Ramanetaka. — 1 : terre ferme ; 2 : mangrove ; 3 : sable, vase, gravier ; 4 : prairies de Cymodocées ; 5 : couronne détritique (sable) ; 6 : récif vivant ; 7 : petit lagon.

Dans le premier, représenté par exemple par le récif D (fig. 27), la partie du récif enserrant le lagon est entièrement ou presque entiè-

rement vivante en surface. La surface du récif D ne comprend du sable en quantité notable que dans l'angle SW, c'est-à-dire la partie la plus proche de terre, où, sur un petit espace, le corail vivant ne couvre que la moitié ou les deux tiers de la superficie. Ce sous-type, à la fois le plus florissant et le moins intéressant, est aussi représenté dans les récifs à l'Ouest et au SW du Grand Récif J, en particulier M (fig. 30). On peut y rattacher le récif G (fig. 24), où le rassemblement de sable dans la partie SE, sous le vent, est plus important qu'en D, le reste de la bordure étant essentiellement vivant. On saisit, là encore, l'influence des petites vagues de vent local. On notera pourtant que le sable de la partie SE de G n'est pas assez abondant pour gêner la croissance de H qui, bien que tout proche de G dont ne le sépare qu'une passe peu large, est, nous l'avons vu, entièrement vivant.

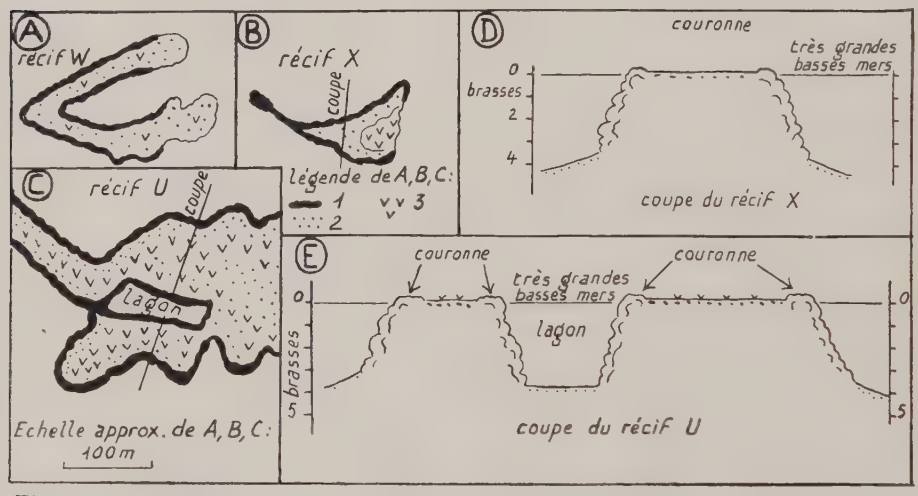



Fig. 28. — Détail et coupes de récifs de l'Est de la Baie Ramanetaka. — Légende de A, B, C : 1, couronne saillante de *Porites* et d'*Astraea* : 2, éléments détritiques ; 3, prairies de Cymodocées.

Le second sous-type, réalisé en U, V, W et X du point de vue des parties superficielles, comprend (fig. 28 et pl. XXIV, B) une étroite bordure vivante de *Porites* et d'*Astraea* tout autour du récif, sauf, en général, du côté de terre sous le vent, où les conditions sont moins favorables ; cette bordure, qui existe aussi autour du ou des lagons, émerge d'environ 0,30 m à très grande basse mer, et domine d'à peu près la même hauteur, ou légèrement moins, le reste du récif, où ne vivent que des colonies éparses et petites, de très nombreux commensaux du corail qui nécessitent absolument des bottes pour marcher, et surtout des Cymodocées, le tout sur un fond de sable graveleux. Les

## LEGENDES DES PLANCHES XXV à XXXI

PLANCHE XXV.

Récifs du centre-Sud de la Baie Ramanetaka. Vue aérienne verticale de l'Institut Géographique National. Voir la figure 24.

PLANCHE XXVI.

Baie Ramanetaka. Récifs à petits lagons multiples devant Langamena. Photographie aérienne verticale de l'Institut Géographique National. Voir la figure 26.

PLANCHE XXVII.

Baie Ramanetaka. Grand Récif J. Vue aérienne verticale de l'Institut Géographique National. Voir la figure 30.

PLANCHE XXVIII.

A. — Echantillon n° 7. Berafia, queue sous le vent. Beach-rock à galets de basalte. 1/2 grandeur naturelle.

B. — Echantillon n° 7. Berafia, queue sous le vent. Beach-rock à galets de basalte. 2/3 grandeur naturelle

PLANCHE XXIX.

A. — Echantillon n° 47. Baie Ramanetaka. Grand Récif. Beach-rock à galets. 1/2 grandeur naturelle.

B. — Echantillon n° 47. Baie Ramanetaka. Grand Récif. Galet zoné de Néocomien (facies de Lavaloalika) emballé dans du beach-rock qui n'apparaît pas ici. 2/3 grandeur naturelle.

PLANCHE XXX.

A. — Echantillon n° 6. Nord de Berafia. Beach-rock dans fissures du basalte. Galet de basalte à la partie supérieure gauche. Amphiroas à droite et à gauche dans la partie supérieure. Cristaux aciculaires de $CO_3$ Ca dans les alvéoles de la roche. Lumière naturelle. Grossissement 150.

B. — Echantillon n° 6. Nord de Berafia. Beach-rock dans fissures du basalte. Amphistégine à la partie centrale supérieure. Ilménite et grains basaltiques apparaissent en noir. Lumière naturelle. Grossissement 150.

C. — Echantillon n° 6. Nord de Berafia. Beach-rock dans fissures du basalte. Amphistégine à la partie centrale droite. Amphiroa à gauche de l'Amphistégine. Miliolidae (quart inférieur gauche). Lumière naturelle. Grossissement 150.

PLANCHE XXXI.

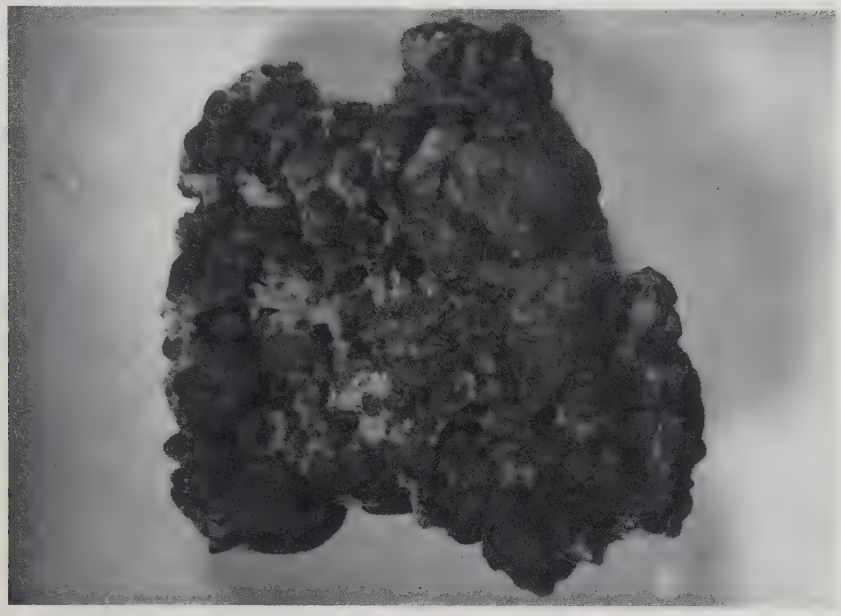
A. — Echantillon n° 7. Berafia, queue sous le vent. Beach-rock à galets de basalte. Partie supérieure : partie de galet de basalte à microlithes feldspathiques. Partie droite : section de Lamellibranche. Partie centrale et gauche : débris calcaires (clairs ou gris-clair). Lumière naturelle. Grossissement 120.

B. — Echantillon n° 33. Nosy Valiha, près pointe Ouest. Beach-rock à éléments de basalte. Partie supérieure gauche : Bryozoaire rameux. Partie supérieure droite : petits grains de calcaire (clairs) dans ciment cryptocristallin (très sombre). Partie inférieure : fragment de Lamellibranche. Lumière naturelle. Grossissement 120.

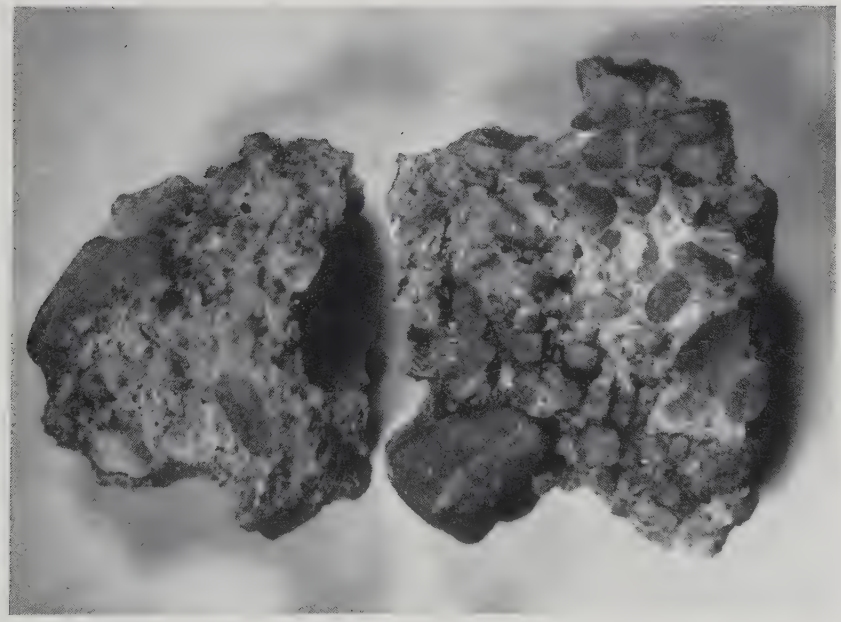
C. — Echantillon n° 47. Grand Récif de la Baie Ramanetaka. Beach-rock à galets. Centre : grain de quartz ; à sa périphérie, petits grains de basalte et d'ilménite (opaques). Débris de calcaire à la partie inférieure gauche (grains gris). Lumière naturelle. Grossissement 120.

NORD

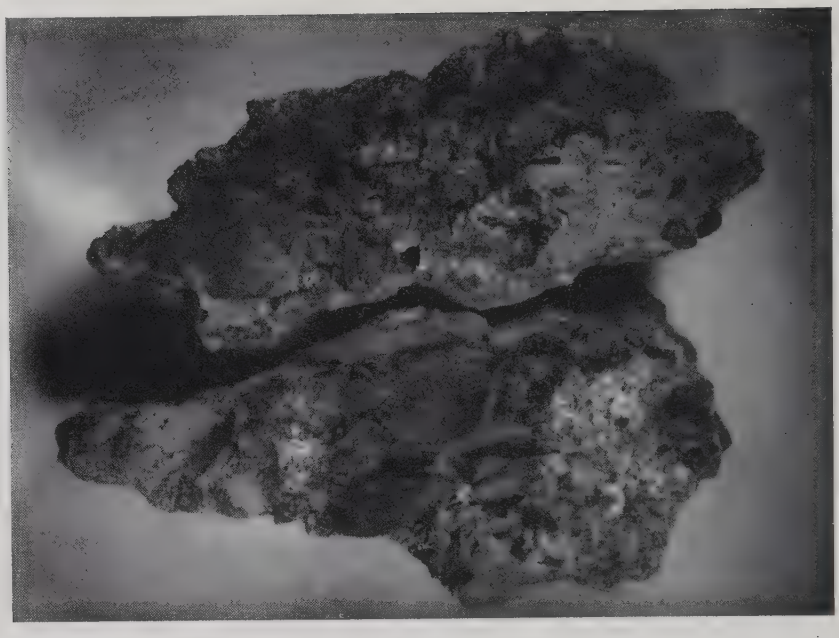
Nord



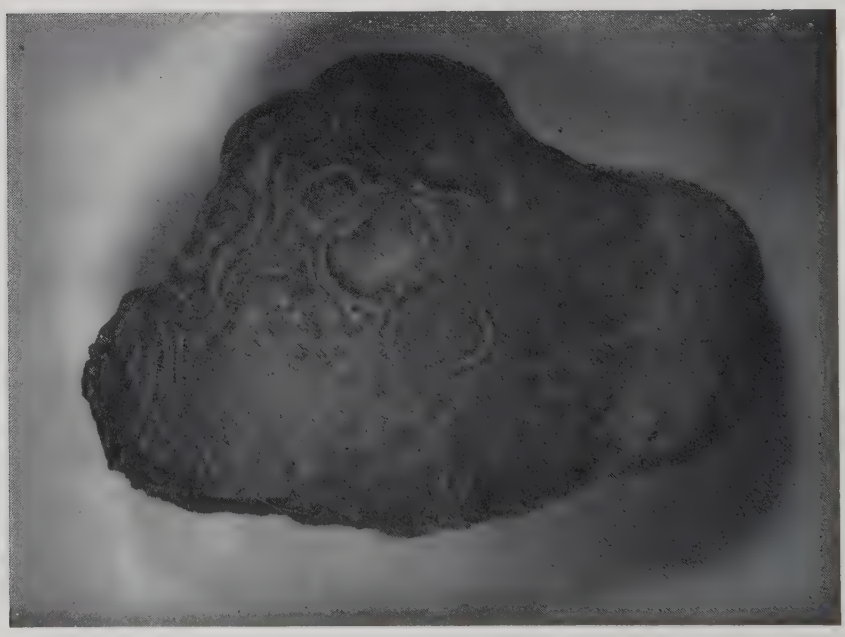
B



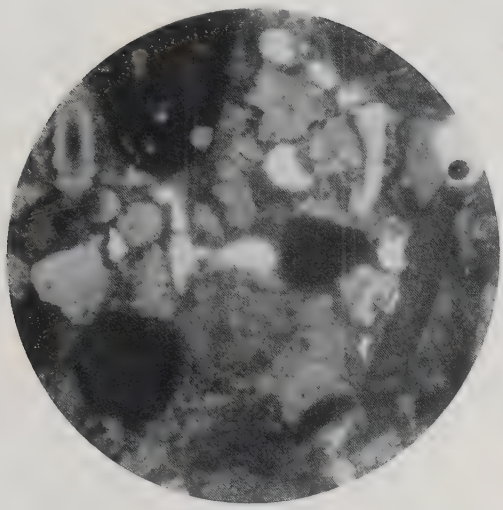
A



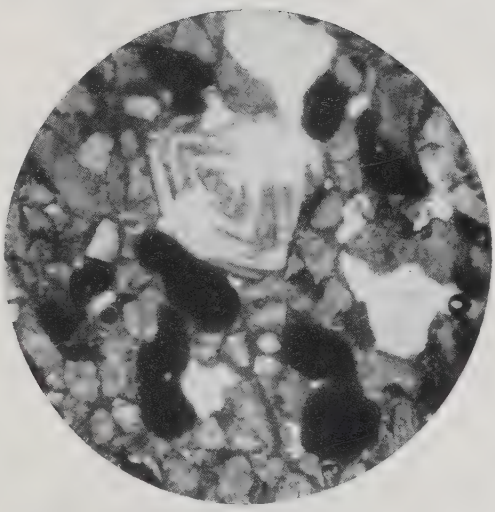
A



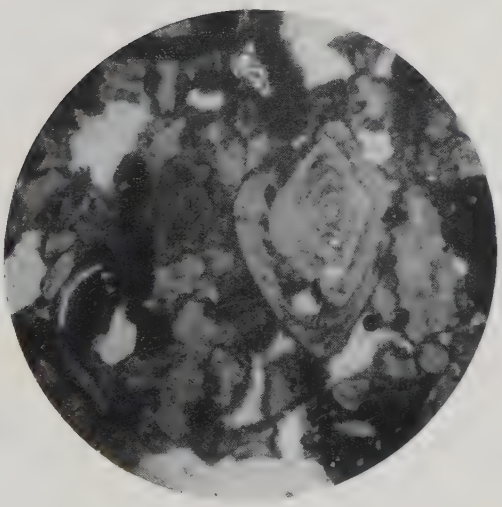
B



A



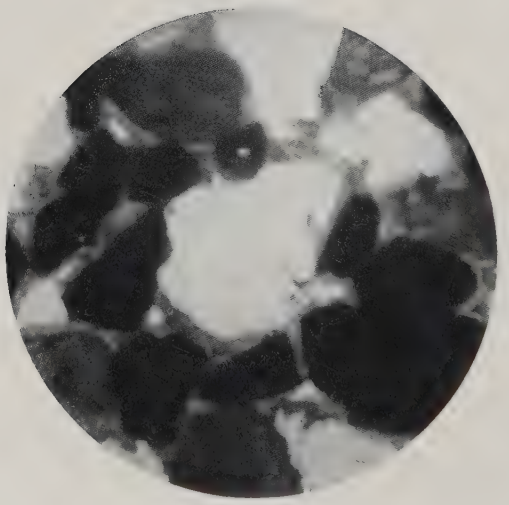
B



C

A

B



C

Cymodocées tendent à se localiser plutôt vers le centre et vers la terre, les parties bordières au contact de la couronne étant plus souvent nues, mais ce n'est pas une règle absolue. En somme, un récif comme U (fig. 28, E) comprend un ou plusieurs véritables lagons de plusieurs brasses de profondeur, et, sur le reste de sa surface, une légère dépression très plate un peu analogue à la prairie de Cymodocées des récifs frangeants des Iles Radama, que domine la couronne à *Porites* et *Astraea*.

L'originalité du type à petits lagons multiples doit découler de l'originalité des conditions réalisées en Baie Ramanetaka : de ces conditions résulte la rapide poussée du corail en bras, donc l'enclavement rapide de portions du fond, que les sédiments ne peuvent combler que lentement parce qu'ils ne sont pas produits en grande abondance.

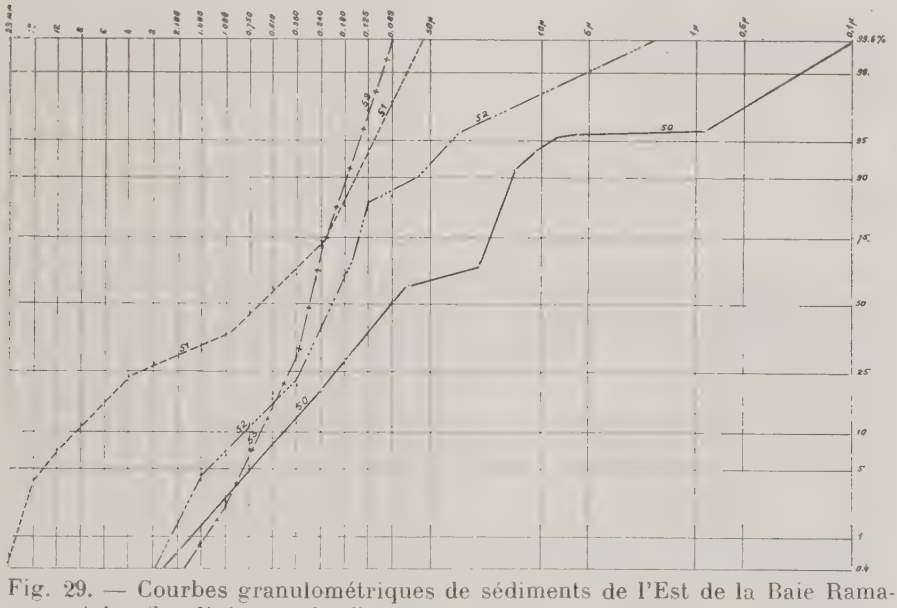


Fig. 29. — Courbes granulométriques de sédiments de l'Est de la Baie Ramanetaka (localisés sur la figure 26).

Une coupe sédimentologique, comportant quatre prélèvements localisés sur la figure 26 (n° 50, 51, 52, 53), a été faite devant Langamena, et les résultats des analyses granulométriques sont donnés par la figure 29. Le sédiment vaseux du lagon du récif U (n° 50) a déjà été caractérisé plus haut. Le prélèvement n° 51 a été fait dans la partie détritique couvrant la surface du récif U : on retrouve exactement les mêmes caractères que dans les sédiments des crêtes externes et chenaux d'embarcations des Iles Radama (fig. 10, où la courbe 50 est répétée),

ce qui est normal étant donnée la similitude de position : pas d'éléments inférieurs à 50 microns, mais importance des éléments grossiers égaux ou supérieurs à 4 mm, qui forment environ 25 % du total en poids. Le troisième prélèvement, n° 52, provient de la partie basse de la plage de Langamena : il s'agit d'un sédiment assez hétérométrique lui aussi, mais dans lequel les tailles extrêmes sont nettement plus fines qu'en 51 : on peut parler ici de sable vaseux, comme au n° 39 de Nosy Valiha (fig. 13), dont la position n'est d'ailleurs pas très différente, mais où la fraction fine est encore plus ténue. Enfin, le n° 53 provient du haut de plage : la courbe est cette fois beaucoup plus homométrique, sans éléments ni très fins ni grossiers, et rentre dans la même famille que les sables de hauts de plage des Iles Radama (fig. 11 et 12). En somme, il y a une remarquable concordance avec les résultats obtenus aux Iles Radama. Au n° 53, le tri par les vagues sur le haut de l'estran s'est en outre accompagné d'une concentration d'ilménite, de magnétite et de zircon, qui forment 47,5 % de la fraction insoluble (c'est-à-dire non calcaire) de l'échantillon, mais ces concentrations ne s'étendent qu'à certains points de la plage où a été pris l'échantillon.

### 5. Les récifs a couronne détritique

Ces récifs sont moins spécifiques de la Baie Ramanetaka, et traduisent, plus que les récifs à petits lagons, l'influence classique des vagues. Ils ont été identifiés dans le Sud en B et C (fig. 27), le récif A voisin étant à la fois de ce type et du type précédent puisqu'il possède un petit lagon enclavé. D'autres existent dans la même région de la baie, juste au Nord de l'embouchure de la rivière à l'Est d'Ankatafy.

De l'extérieur à l'intérieur, on rencontre : une bordure externe entièrement vivante, émergeant de 0,20 à 0,30 m aux très grandes basses mers ; puis une couronne de sable nu, étroite et filiforme, qui est continue du côté au vent mais s'interrompt sous le vent ; elle est à peu près au même niveau que la bordure vivante, ou légèrement en contre-bas ; enfin, une partie centrale couverte d'éléments sableux ou graveleux, et portant des prairies de Cyomodocées, également à peu près à la même altitude.

L'influence des vagues se marque donc par le tracé et la localisation de la couronne de sable nu. Il est à peine besoin de dire que les têtes de nègre sont complètement absentes, comme en tous les autres récifs de la baie que nous avons vus. Le mouvement tournant dessiné

par les récifs B, C et D doit correspondre à une incurvation des courants et des vagues se dirigeant vers le Sud de la baie ; mais les cotes ne sont pas assez nombreuses pour qu'on puisse tracer un plan de de vagues à cet endroit. La ligne de sondes que nous avons faite (fig. 27) précise les profondeurs encadrant les récifs à l'Ouest et à l'Est. Le récif A est soudé à la terre, comme ceux situés plus à l'Est. L'herbier à Cymodocées se raréfie progressivement en allant vers le Sud, puis on passe d'un fond sableux à un fond de cailloux avec pelliculles de vase; et, tout à fait sous terre à Ankatafy, à des palétuviers sur de petits blocs de basalte crétacé un peu emballés dans la vase. Le fond est dur, et, quand on y marche, on sent les pierres sous les pieds, bien qu'on soulève un nuage de vase. Celle-ci n'a pas plus de quelques centimètres d'épaisseur dans la crique d'Ankatafy.

Il est vraisemblable que ce type représente un stade d'évolution avancée dans la séquence : pâtés et pinacles de corail — récifs en traînées allongées — récifs à petits lagons multiples. Le récif A serait alors une forme de transition.

### 6. Le grand récif J et le récif branchu P

*Le Grand Récif* (fig. 30 et pl. XXVII).

Particulièrement spectaculaire quand on le voit d'avion, il a été parcouru à l'occasion de la meilleure marée dont nous disposions, celle de coefficient 112 du 6 septembre 1956. Comme il a très bien découvert, nous avons pu, à deux circulant chacun de son côté, en identifier toutes les parties essentielles.

Du point de vue géologique, un résultat important a pu être acquis : ce récif n'est pas entièrement corallien, le socle crétacé y affleure aux trois endroits indiqués sur la figure 30. Les échantillons recueillis comprennent des roches zonées rouge-foncé ou noires à concrétions ferrugineuses, des grès gris fins, et des calcaires marneux. Les gisements découvrent une demi-heure après la mi-marée, et forment par endroits des micro-cuestas par suite du pendage des couches. Des échantillons des trois affleurements (n° 44, 45 et 46) ont été envoyés à M. Besairie, qui y a reconnu le facies de Lavaloalika (Néocomien et Jurassique supérieur) qu'il avait défini antérieurement (1934) sur la Grande Terre, dans la région de Langamena. En 1954, l'un de nous avait déjà trouvé plus au Sud, à Nosy Langna devant Analalava, un gisement de Crétacé formant, au ras de la mer, le socle en affleurement d'un récif isolé de terre (Guilcher, 1956, p. 119-120).

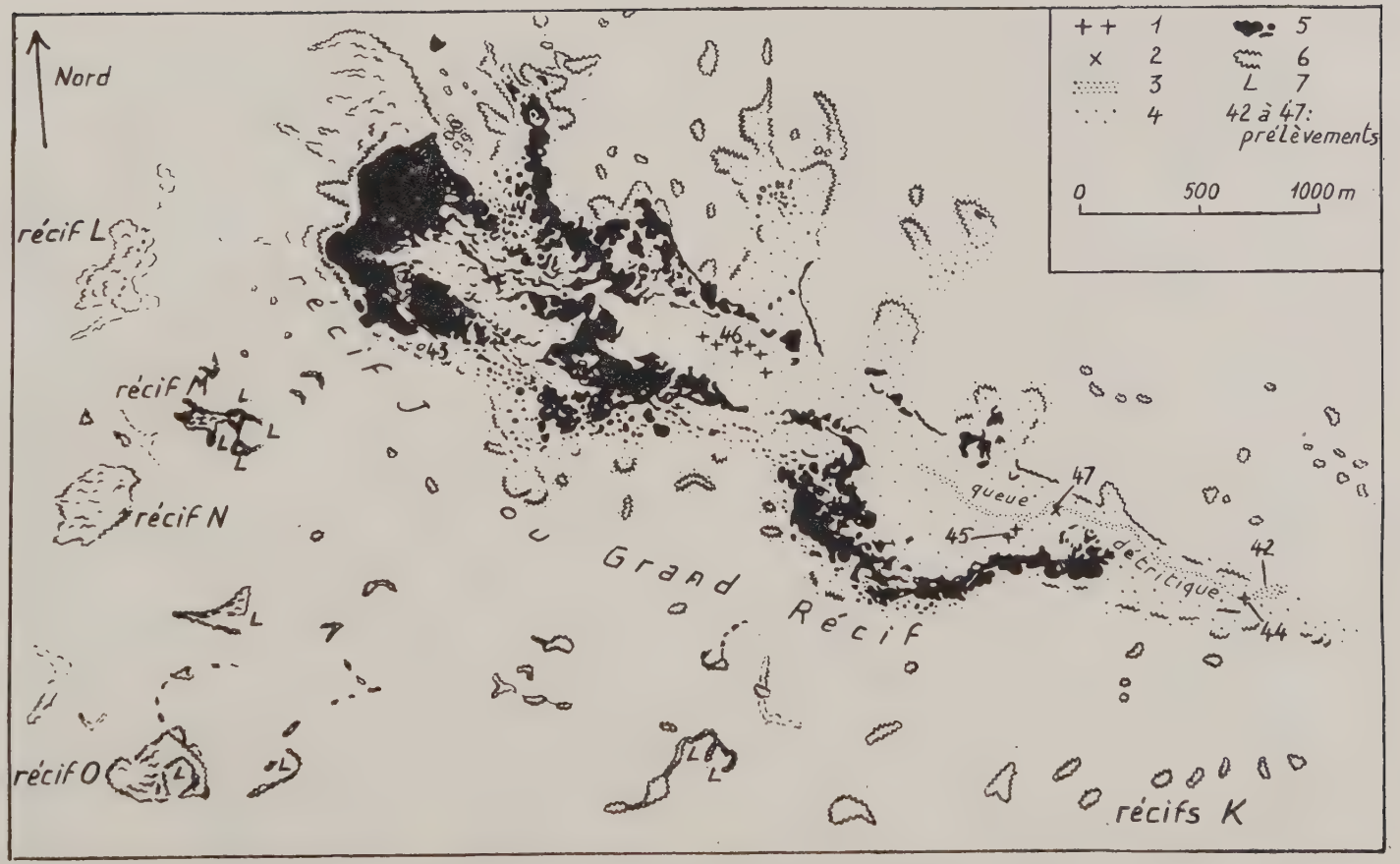



Fig. 30. — Grand Récif de la Baie Ramanetaka, et récifs voisins. — 1 : Crétacé en place ; 2 : beach-rock ; 3 : queue détritique (surtout sable) ; 4 : sable couvrant l'ensemble du récif ; 5 : prairies de Cymodocées ; 6 : bordures vivantes ; 7 : lagons des petits récifs voisins.

L'un de nous (BERTHOIS) a examiné au laboratoire un échantillon de roche zonée provenant du Grand Récif, et y a fait les observations suivantes (pl. XXIX, B) :

La roche est polychrome, avec des zones jaunes, brunâtres, rouges ou brunes. La texture de cette roche est très complexe : elle rappelle celle des calcaires à Schyzophycées décrits par MORET (Manuel de Paléontologie végétale, 1943).

Au microscope, la roche est très peu transparente, et toutes les zones, bien que diversement colorées, paraissent quasi-opaques. C'est seulement entre nicols croisés et sous un faible grossissement que les zones colorées se différencient ; leurs limites sont parfois imprécises, parfois nettes et dentelliformes.

La roche est criblée d'un grand nombre de grains de quartz de 20 à 60 microns, qui sont accompagnés de grains de feldspath de même dimension. Tous les grains détritiques sont orientés en tous sens, et ne forment jamais de lits continus. La forme anguleuse des grains, jointe à leur dispersion dans le dépôt, leur confère un caractère de poussière. La roche apparaît donc comme un calcaire d'origine organogène (sans pouvoir préjuger de la détermination de l'organisme constituant), à l'édification duquel a été incorporée une poussière éolienne.

En outre, l'existence de petits galets de basalte dans un affleurement de beach-rock du récif (voir plus loin, C, 5, échantillon n° 47) fait présumer qu'il existe dans le soubassement de ce récif, vraisemblablement dans la partie Ouest, du basalte momentanément ou continuellement masqué par les sédiments. Voir aussi à ce sujet C, 4, échantillon n° 43.

Les formations coralliennes vivantes ou détritiques constituent cependant de beaucoup la plus grande partie des affleurements du Grand Récif, et, à l'Ouest du point 46 sur la figure 30, nous n'avons pas vu autre chose qu'elles. Les parties vivantes sont beaucoup plus réduites que dans la grande majorité des récifs de la Baie Ramanetaka qui sont étudiés plus haut. Elles sont constituées par de nombreux petits massifs de bordure, d'ailleurs florissants, beaucoup plus importants dans l'W et le NW qu'ailleurs, mais présents un peu partout et s'élevant au-dessus de fonds de sable qui ont des pentes graduelles. L'essentiel est détritique, et formé de sable.

Dans le SE s'est, très normalement, constituée une queue détritique essentiellement sableuse, mais incluant aussi, près du point 44, de petits galets de Crétacé. Elle se termine en 42 par une sorte de petite caye submersible. Le sable en est meuble, mais, au point 47, la queue entoure un assez grand affleurement de beach-rock de 23 m de long,

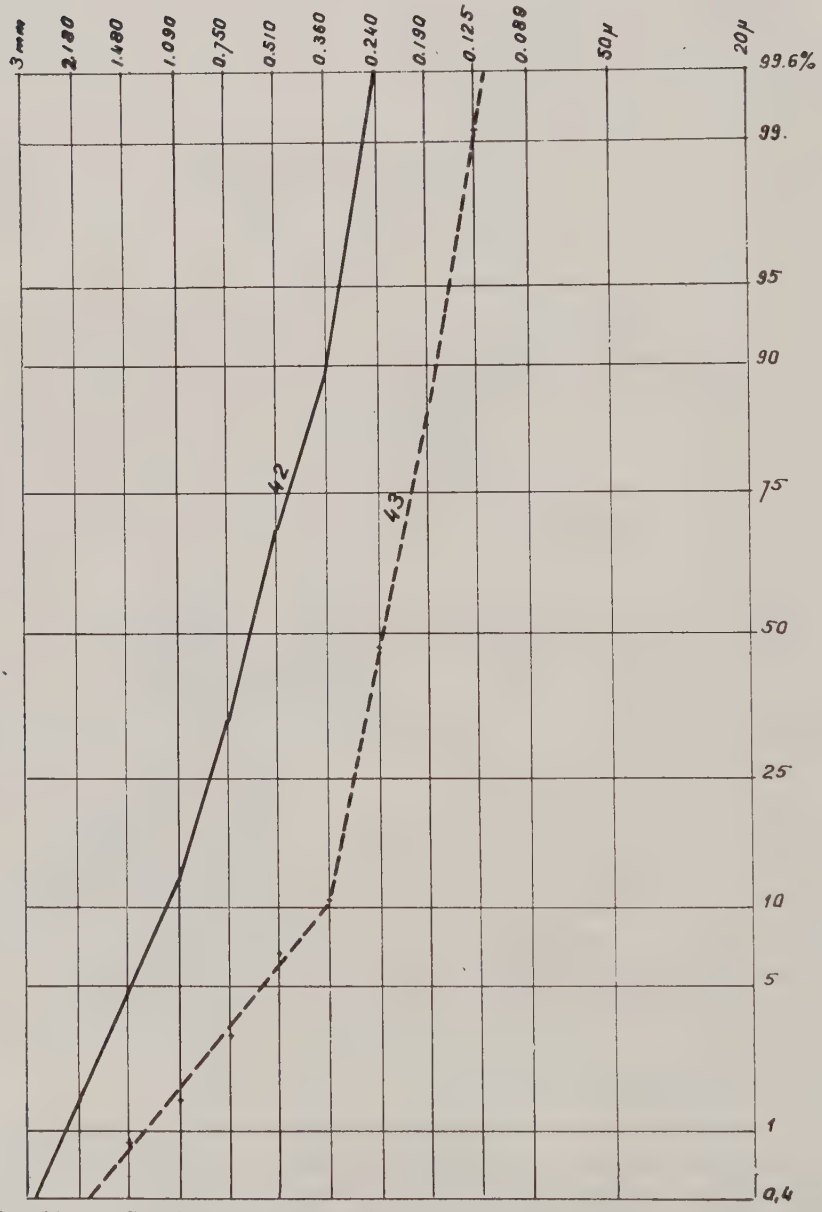



Fig. 31. — Courbes granulométriques de sédiments au Grand Récif de la Baie Ramanelaka (localisés sur la figure 30).

formé d'un grés coquillier grossier emballant des galets de Crétacé, de basalte et même de trachyte (voir C, 5 pour une description plus détaillée). Ce beach-rock, qui est le point le plus élevé de tout le Grand Récif, vient en affleurement vers la mi-marée ou un peu avant, et domine de 1 m le sommet de la flèche de sable à cet endroit. Il n'est cependant pas du tout sûr qu'il ait été mis en place lors d'un niveau marin plus élevé qu'aujourd'hui, puisqu'il couvre à haute mer. La queue est sinueuse, mais nous ne chercherons pas à voir dans ces sinuosités, contrairement à ce que nous avons fait pour les queues des Iles Radama, l'influence de sautes de vent ; en effet, ce n'est pas une queue entièrement libre, et les inflexions peuvent être dues à l'influence du socle crétacé. En coupe transversale, elle est dissymétrique, avec une pente plus raide au Sud qu'au Nord (c'est-à-dire l'inverse de ce qui se passe à la queue de Berafia). Sa partie saillante est très étroite, 7,50 m en moyenne, et domine un épandage pelliculaire de sable de part et d'autre. La seule modification sûre qui ait été notée en 1956 par rapport à la photographie aérienne datant de septembre 1949, est que le beach-rock était alors sur le bord Sud de la flèche, et qu'il est maintenant en son milieu ; les sinuosités dans les 330 m à l'Est du beach-rock se sont peut-être un peu modifiées aussi. Mais dans l'ensemble on peut considérer cette queue comme stable ou très peu mobile depuis 1949.

Un échantillon a été prélevé dans la queue (n° 42), et un autre dans la partie Ouest du banc. L'analyse granulométrique (fig. 31) montre que ces deux échantillons ont des courbes semblables, avec forte homométrie des grains, et que les courbes sont de la même famille que les courbes de sables de plages des Iles Radama (fig. 11 et 12). Pour la composition de ces échantillons, voir plus loin, C, 1 et 4.

Un caractère très apparent du Grand Récif est donné par ses prairies de Cydomocées, qui y forment, sur les photographies aériennes, des taches noires (en fait, vert-foncé) de formes curieuses : circulaires, elliptiques, en virgules, en accolades, mais toujours avec des contours nets et comme tracés par un jardinier. La raison exacte de ces tracés ne nous est pas apparue. On voit que les prairies se localisent surtout dans la partie Ouest et Sud du récif : le centre et l'Est en sont généralement dépourvus, et le Nord en porte relativement peu. Les Cymodocées ne sont pas systématiquement en saillie par rapport au sable nu, quoique la position en saillie existe ; il n'y a pas de mares en croissants comme aux Iles Radama. Le sable nu est très accidenté de buttes et creux de 0,15 m par suite de l'action d'animaux fouisseurs. La partie Ouest du banc découvre pendant environ 1 h 1/2 lors d'une marée de 112, et les têtes des récifs vivants, pendant 2 h, avec une émersion de 0,30 à 0,40 m.

L'allongement du Grand Récif de l'WNW à l'ESE est conforme à l'alignement des points du soçle en affleurement. Cependant, il se trouve qu'il y a à peu près coïncidence de cet alignement avec la direction des forces formatrices commandant la poussée du corail.

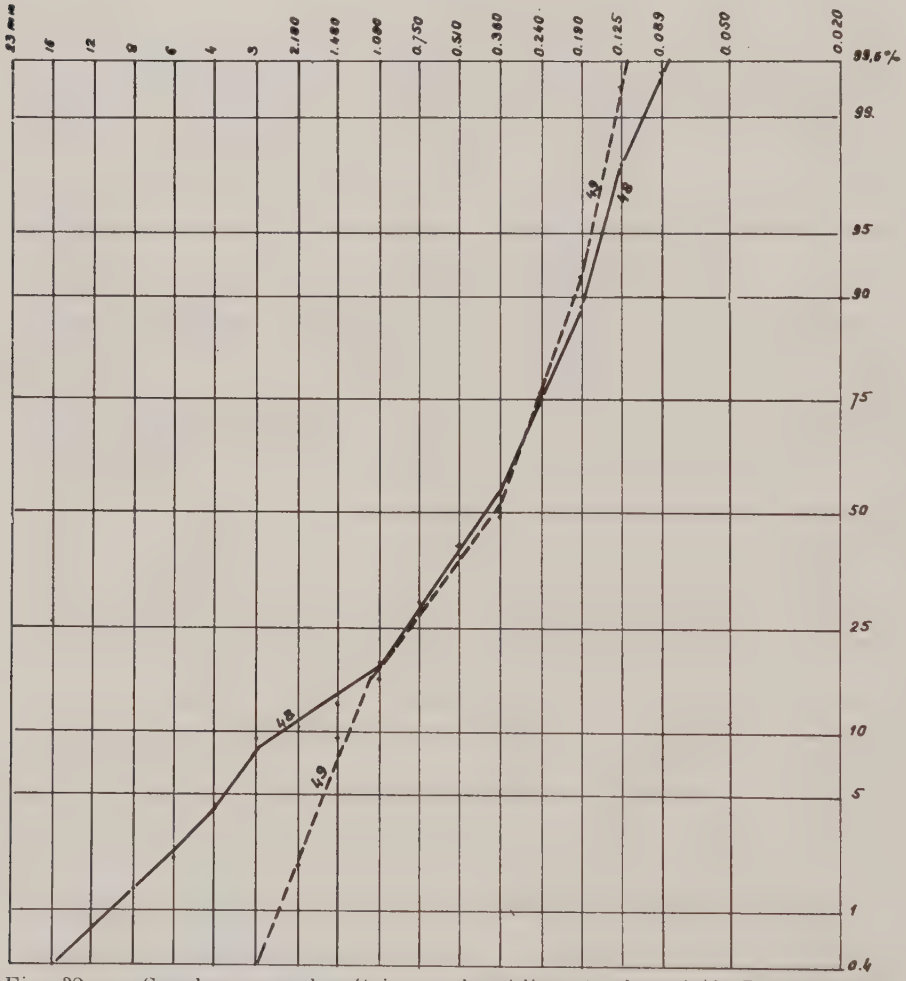



Fig. 32. — Courbes granulométriques de sédiments des récifs P et Q de la Baie Ramanetaka (localisés sur la figure 23).

*Le Récif Branchu P.*

Ce « récif », le plus grand de la baie après le Grand Récif, est, dans sa partie orientale qui a seule été vue de près, essentiellement

formé de sable, de même que le récif Q tout proche. Ce sable forme une série de culminations couvertes de quelques décimètres d'eau aux plus grandes basses mers, réunies par des parties sableuses un peu plus profondes. Sur les culminations apparaissent sur les photos de petits points noirs, qui sont, en Q, des têtes de corail à disposition circulaire, et, sur la tête Est de P, des têtes de corail, des taches de Cymodocées et des taches d'algues rouges. Ces trois catégories sont difficiles à bien distinguer les unes des autres sur photos, vu leur petitesse. Dans le centre et l'ouest, la distinction est plus facile, les taches paraissant surtout coralliennes. Il est possible que la forme branchue reflète celle d'un squelette de Crétacé, mais nous n'avons pas vu ce squelette supposé.

Des prélèvements ont été faits à la drague sur Q (n° 48) et sur l'Est de P (n° 49), dans les parties couvertes d'environ 1,5 m d'eau à grande basse mer. La figure 32 montre au n° 49 une granulométrie du type des sables de plages (cf. fig. 11 et 12), et au n° 48 une granulométrie du type des crêtes externes (cf. fig. 10), c'est-à-dire avec adjonction au type précédent d'un certain pourcentage d'éléments supérieurs à 3 mm. La minéralogie de la fraction insoluble de ces deux échantillons montre une communauté d'origine avec les échantillons de la plage de Langamena (voir infra, C, 4).

En conclusion, non seulement la Baie Ramanetaka est le lieu d'une très riche vie corallienne, mais encore les formes de récifs y sont variées, et l'une d'elles est fort originale par ses multiples petits lagons. Il y aurait lieu de rechercher si l'on ne peut pas identifier ailleurs de tels récifs à lagons multiples, et, en cas de résultat positif, si les conditions de développement sont du même type qu'ici. Sauf le Grand Récif et le Récif Branchu, les différents types que nous avons distingués semblent pouvoir se ranger dans une séquence générale : pâtés et pinacles de corail ; récifs en traînées ; récifs à petits lagons multiples : récifs à couronne détritique et sans lagon.

## C. — PROBLEMES, ANALYSES ET RESULTATS SEDIMENTOLOGIQUES D'ENSEMBLE

### 1. Teneur en calcaire des sédiments

Le dosage du calcaire a été fait à l'aide d'un vase de Schoetter. Environ 30 grammes de l'échantillon sont broyés à l'aide d'un petit broyeur à hélice. Cette précaution permet de faire une prise d'essai réduite, mais cependant représentative du sédiment. La prise d'essai

était voisine de 0,5 gr ; les pesées ont été faites à 0,01 gr près sur un trébuchet de précision. Après attaque à l'HCl, le vase de Schoetter est branché sur une trompe à eau pour assurer l'aspiration complète du $CO_2$ qui peut subsister dans l'appareil.

Pour la désignation des sédiments, voir l'appendice ; pour leur localisation, voir les figures 1, 3, 4, 5, 6, 23, 26 et 30.

On voit que, parmi les échantillons analysés, seuls les numéros 12, 18, 52 et 53 ne dépassent pas la teneur de 50 %. 12 et 18 sont des échantillons de vases de mangroves de Kalakajoro et Antany Mora. On notera ensuite, parmi les échantillons à teneurs relativement faibles (50 à 66 %), les vases du lagon entre Berafia et la barrière extérieure (n° 25 et 26), la vase de la mangrove de la queue de Nosy Valiha (n° 36)

Teneurs en $CO_3Ca$

| *Echantillons* | *Teneurs* | *Echantillons* | *Teneurs* |
|---|---|---|---|
| 1 | 96,50 % | 26 | 53,75 % |
| 2 | 82,02 % | 28 | 73,25 % |
| 3 | 74,50 % | 29 | 89,00 % |
| 4 | 72,20 % | 34 | 76,90 % |
| 5 | 77,02 % | 35 | 65,20 % |
| 8 | 72,10 % | 36 | 62,80 % |
| 9 | 78,35 % | 38 | 62,55 % |
| 10 | 77,40 % | 39 | 69,70 % |
| 11 | 77,25 % | 40 | 93,60 % |
| 12 | 22,70 % | 41 | 90,40 % |
| 14 | 83,60 % | 42 | 85,45 % |
| 15 | 80,60 % | 43 | 90,15 % |
| 16 | 86,20 % | 48 | 91,80 % |
| 17 | 79,85 % | 49 | 90,35 % |
| 18 | 22,18 % | 50 | 65,55 % |
| 19 | 78,75 % | 51 | 94,32 % |
| 24 | 97,50 % | 52 | 17,46 % |
| 25 | 61,05 % | 53 | 09,24 % |

et la vase du lagon du récif U (n° 50). Cependant, il y a des vases qui dépassent la teneur de 70 % et qui sont plus calcaires que certains sédiments non vaseux : ainsi les numéros 4 (Nord de Berafia), 10 (SW de Berafia) et 28 (centre-Ouest de Berafia). On ne saurait donc tirer de conclusion absolue pour les vases, mais seulement noter leur tendance à figurer, le plus souvent, parmi les sédiments les moins calcareux. Cela peut s'expliquer, au moins en partie, par l'importance relativement grande d'éléments fins terrigènes, en particulier latéritiques, dans certains de ces dépôts (voir à ce sujet plus loin, C, 3 : analyses thermiques).

Les plus fortes teneurs, dépassant 90 %, sont réalisées sur la plage Ouest de Berafia (n° 1), sur la crête externe et dans le chenal d'embarcations du récif de Nosy Valiha (40 et 41), dans l'Ouest du Grand Récif Ramanetaka (43), sur les récifs Q, P et U de la Baie Ramanetaka (48, 49 et 51), et surtout sur la barrière extérieure (24), où la teneur, la plus élevée de toutes, atteint 97,50 %. Ce dernier fait est à retenir particulièrement, car il rend improbable l'existence d'affleurements pré-coralliens sur la barrière extérieure à proximité de ce prélèvement, sauf, évidemment, si ces affleurement étaient formés de calcaire, ce qui reste possible. Les autres endroits sont, sauf le n° 1, des lieux où il est normal, de par la position, que la sédimentation soit, dans des sédiments non vaseux, près d'être exclusivement corallienne (au sens large, y compris les commensaux du corail). En particulier, il est naturel que la teneur soit plus forte dans l'Ouest du Grand Récif Ramanetaka (43) que dans l'Est du même (42), l'échantillon Est étant sous le vent et tout près des affleurements de Crétacé.

La série des échantillons 51-52-53 est intéressante à considérer. La teneur en $CO_3Ca$ de 51, le plus éloigné de terre, à la surface du récif U, est normalement très élevée (sable et graviers essentiellement coralliens au sens large) ; le bas de la plage de Langamena, n° 52, a déjà une faible teneur en $CO_3Ca$, et le haut de la même plage, n° 53, une très faible teneur par suite de la concentration de minéraux lourds par les vagues à cet endroit (voir infra, C, 4). L'influence corallienne diminue donc là très rapidement vers le rivage.

Aucun échantillon analysé n'est cependant entièrement calcaire. La nature de la fraction non calcaire sera précisée plus loin pour un certain nombre d'échantillons (voir infra, C, 4).

### 2. Dosage d'azote total dans les vases

Le dosage de l'azote total a été fait suivant la méthode semi-micro-analytique de Kjeldahl. L'attaque sulfurique est en général assez facile : la plupart des échantillons étaient totalement décolorés après seulement une demi-heure d'attaque. Les échantillons prélevés dans les mangroves exigent une attaque plus longue, mais qui n'excède pas deux heures.

| | N p. 1000 | | N p. 1000 |
|---|---|---|---|
| n° 4 | 0,7 | n° 18 | 1,0 |
| n° 10 | 0,3 | n° 25 | 1,1 |
| n° 12 | 0,6 | n° 26 | 1,1 |
| n° 13 | 0,8 | n° 28 | 1,2 |
| | | n° 50 | 1,1 |

Il est à remarquer que ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles obtenues sur la côte australienne par CARRIGY (1956).

En classant les résultats par types de localisation, nous obtenons les groupes suivants :

*Vases d'estran et pré-littorales :*

| | |
|---|---|
| n° 4 Nord de Berafia | 0,7 |
| n° 10 SW de Berafia | 0,3 |

*Vases de lagons :*

| | |
|---|---|
| n° 25 Entre Berafia et barrière extérieure | 1,1 |
| n° 26 » » » » | 1,1 |
| n° 50 Baie Ramanetaka, lagon du récif U | 1,1 |

*Vases de mangroves :*

| | |
|---|---|
| n° 12 Kalakajoro, queue détritique | 0,6 |
| n° 13 Kalakajoro, lagune Ouest | 0,8 |
| n° 18 Antany Mora, queue détritique | 1,0 |
| n° 28 Berafia, lagune plage Ouest | 1,2 |

Ces résultats sont trop peu nombreux pour qu'il soit possible d'en tirer autre chose que des indications générales. Ils montrent cependant que les teneurs en azote total des vases d'estran et pré-littorales sont parmi les plus faibles, mais peuvent varier dans de grandes proportions. Les vases de lagons sont plus azotées, et les teneurs sont plus constantes. Les teneurs des vases de mangroves paraissent varier dans de très importantes proportions.

### 3. Analyses thermiques différentielles

Les analyses thermiques différentielles qui ont été faites, et dont les résultats sont portés sur la figure 33 (avec, en bas, les courbes de référence A représentant l'illite pure, et B représentant la kaolinite pure), ont eu pour but de préciser la nature, d'une part de certaines formations terrestres affleurant en abondance dans les îles et susceptibles d'alimenter la sédimentation marine, d'autre part de certaines vases. Nous classons donc ci-après ces analyses en deux rubriques. Les échantillons ont été traités à l'eau oxygénée à 40 volumes, mais ils n'ont pas été traités à l'acide chlorhydrique, de façon à déceler, le cas échéant, le carbonate de chaux existant dans la fraction très fine.

a) *Formations d'altération du basalte*

**n° 23.** Berafia. Sol d'altération du basalte à l'Est de la plantation. Argile colloïdale assez abondante.
Crochet important de goëthite.

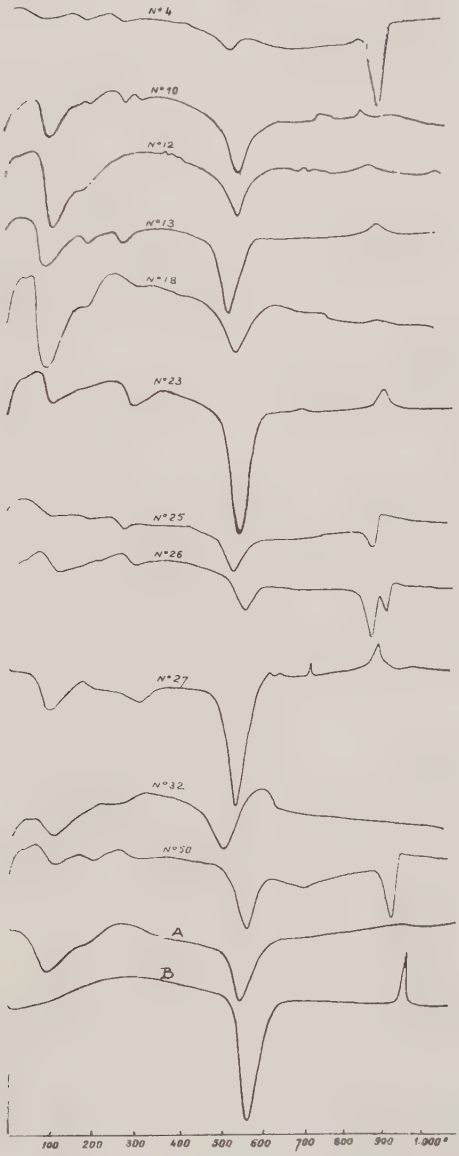



Fig. 33. — Analyses thermiques différentielles de formations argileuses et de sédiments vaseux des Iles Radama et de la Baie Ramanetaka. Même remarque qu'à la figure 10. En bas, la courbe A est la courbe-type de l'illite pure, et la courbe B, la courbe-type de la kaolinite pure.

Grande abondance de kaolinite : le sédiment est presque une kaolinite pure (comparer l'importance des crochets endothermique et exothermique avec ceux de la courbe B en bas de la figure 33, qui est la courbe de la kaolinite pure).

L'altération de type latéritique est donc certaine.

**n° 27.** Berafia. Sol rouge d'altération du basalte devant la maison de l'intendant.

Goëthite abondante.

$Fe_2O_3$ en petite quantité, marqué par un crochet exothermique à 740°.

Kaolinite très abondante : le sédiment est presque une kaolinite pure (voir courbe B).

Evolution latéritique certaine.

**n° 32.** Nosy Valiha. Basalte altéré dans le NNW de l'île.

Mélange d'illite avec une très petite quantité de kaolinite ; comparer à la courbe A, illite pure ; mais l'échantillon contient une trop faible proportion d'éléments très fins pour que l'analyse soit probante : elle a porté sur les zones argilo-ferrugineuses du ciment qui, dans la roche dont la couleur est rouge-brique et la consistance très friable, unit des grains de quartz isométriques de 80 à 110 microns de diamètre.

Evolution latéritique incertaine et très peu marquée.

b) *Vases*

**n° 4.** Cote Nord de Berafia. Vase littorale.

La courbe d'analyse thermique signale des trace de goëthite, une faible quantité de kaolinite, mais une forte proportion de calcite mise en évidence par le crochet à 930°.

**n° 10.** Cote SW Berafia. Vase par fonds de 10 m.

Trace de goëthite.

Quantité importante de kaolinite.

Présence de $Fe_2O_3$ et de chlorite, très peu abondants l'un et l'autre.

Argile colloïdale abondante.

**n° 12.** Kalakajoro. Mangrove de la queue détritique.

Argile colloïdale abondante.

Trace de limonite.

Quantité peu importante de kaolinite.

Très faible quantité de calcite.

**n° 13.** Kalakajoro. Vase de la mangrove dans la lagune de l'Ouest.

Crochet très marqué de la goëthite, qui est assez abondante.

Quantité très importante de kaolinite, marquée par la présence des crochets endothermiques et exothermiques, et probablement mélangée à de l'illite.

**n° 18.** Antany Mora. Vase de la mangrove de la queue.
Argile colloïdale abondante.
Présence de goëthite en faible quantité.
Kaolinite moyennement abondante sans illite.
$Fe_2O_3$ très peu abondant.

**n° 25.** Lagon entre Berafia et la barrière extérieure, fonds de 30-35 m.
Très petite quantité de goëthite.
Mélange de kaolinite et d'illite, mais assez faible quantité des deux minéraux.
Calcite assez abondante (crochet endothermique-exothermique à 930°).

**n° 26.** Lagon entre Berafia et la barrière extérieure, fonds de 25-30 m.
Courbe du même type que la précédente.
Petite quantité de goëthite.
Mélange de kaolinite et d'illite, mais avec prédominance du premier minéral ; cette dominance de la kaolinite est marquée par le crochet exothermique ayant interrompu pendant quelques minutes la réaction endothermique de la calcite (900° environ).
Calcite abondante.

**n° 50.** Baie Ramanetaka. Lagon du récif U. Vase à 3 brasses 3/4 de profondeur.
Petite quantité de goëthite.
Quantité importante de kaolinite.
Quantité importante de calcite parmi les éléments très fins.

*Commentaires.*

Les analyses thermiques portant sur les échantillons 23 et 27 montrent qu'à Berafia, le sol rouge d'altération du basalte, qui est très caractéristique dans cette île, est une kaolinite presque pure résultant d'une évolution latéritique. Il y a donc là une importante source possible de kaolinite pour les sédiments marins, d'autant plus que les sols de cette île sont mis à nu et fortement ravinés par suite du déboisement. A Nosy Valiha, l'évolution latéritique est beaucoup moins nette dans l'échantillon 32, mais cela peut être dû à ce que le prélèvement a été fait dans un horizon C, mis à nu par une érosion très récente, et encore relativement peu latéritisé.

Nous sommes donc conduits à penser que la kaolinite très ou moyennement abondante en maintes vases marines (n° 10, 13, 18, 26) vient de l'érosion des sols latéritiques des îles ; pour le n° 50, l'apport proviendrait du continent, mais nous n'avons pas d'analyse sur celui-ci pour le confirmer. Par ailleurs, la goëthite, l'argile colloïdale et l'illite décelées dans les formations terrestres se rencontrent en divers sédiments marins avec une abondance variable. Seule la calcite, abondante en certaines vases (25, 26, 50), serait d'origine proprement marine dans leur partie argileuse.

### 4. Recherche et étude de la fraction non organogène dans les sédiments

Etant donné que les roches sédimentaires en partie calcaires affleurent, à côté des roches éruptives, à Kalakajoro, Antany Mora et Berafia, et sur le continent, nous avons cherché à distinguer, dans la fraction calcaire des sédiments, ce qui pouvait en provenir de ce qui venait des organismes des récifs. Malheureusement, la discrimination, à la loupe binoculaire, des débris de calcaire organogène et des fragments de calcaire détritiques pouvant être incorporés aux sédiments, s'est avérée impossible. Une tentative a été faite en sertissant les grains meubles dans de la gomme laque coulée dans un petit cylindre en laiton. Les éléments sertis étaient ensuite polis au tour lapidaire ; mais, par suite de l'exigüité des grains, les déterminations microscopiques étaient douteuses. Il aurait été nécessaire de tailler une lame mince dans cette préparation, mais les grains se dessertissent de la gomme laque bien avant que soit atteinte l'épaisseur normale de la préparation microscopique. Les essais de cuisson dans le baume de Canada ont été également rendus infructueux par suite de la présence de très fins débris calcaires obscurcissant les préparations.

En présence de ces échecs successifs, nous avons dû nous contenter d'étudier les résidus insolubles, c'est-à-dire les fractions non calcaires. Le pourcentage de ces fractions par rapport à la totalité de chaque sédiment est immédiatement calculable à partir du tableau figurant plus haut sous le titre 1, qui donne le pourcentage en calcaire des sédiments. Environ 5 gr de sédiment ont été attaqués à l'H Cl à froid après lavage à l'eau distillée et décantations successives. Une partie du résidu insoluble a été montée entre lame et lamelle dans le baume de Canada, et examinée au microscope. Ce sont les résultats de cette étude qui sont donnés ci-après.

**n° 3.** Berafia. Grande plage Ouest, Centre-Sud, haut d'estran.
Quartz très anguleux transparent, avec parfois quelques inclusions.

Magnétite et ilménite très abondantes, toujours en grains roulés.
Mica noir, très rare.
Pyroxène vert en grains toujours roulés.

Proportions :

| | |
|---|---|
| Quartz | 9 % |
| Ilménite - Magnétite | 84 % |
| Mica noir | 1 % |
| Pyroxène | 6 % |
| | 100 % |

Diagnose : Influence prépondérante d'une roche basique, c'est-à-dire le basalte de l'île.

**n° 5.** Berafia. Plage Nord, partie centrale, hautes mers. Sable un peu teinté en ocre.

Quartz toujours anguleux, souvent même esquilleux avec des angles très aigus.

Ilménite et magnétite très abondantes, toujours en grains usés.

Pyroxène vert, en grains usés.

Hornblende basaltique sans polychroïsme sensible, toujours en grains usés.

Proportions :

| | |
|---|---|
| Quartz | 12 % |
| Ilménite - Magnétite | 81 % |
| Pyroxène | 5 % |
| Hornblende basaltique | 2 % |
| | 100 % |

Diagnose : Minéraux caractéristiques d'une roche mère très basique (basalte de l'île).

**n° 8.** Berafia. Extrémité de la queue détritique, face Ouest. Sédiment de la prairie de Cymodocées à quelques mètres en avant des galets.

Quartz abondant en éléments anguleux sans trace d'usure.

Zircon rare en prismes brisés.

Feldspath très altéré.

Saussurite et biotite sans trace d'usure.

Ilménite et magnétite abondantes mais beaucoup moins usées qu'aux numéros 3 et 5.

Proportions :

| | |
|---|---|
| Quartz | 50 % |
| Zircon | 2 % |
| Feldspath | 7 % |
| Ilménite - Magnétite | 29 % |
| Saussurite | 4 % |
| Mica biotite | 8 % |
| | 100 % |

Diagnose : Mélange des produits d'altération d'une roche basique, et d'une roche acide ou d'une roche sédimentaire (il existe un affleurement de Cénomanien à Berafia, au NW du lieu de prélèvement de l'échantillon).

**n° 9.** Berafia. Queue détritique, face Ouest, dans une mare, prairie de Cymodocées.

Quartz abondant toujours très anguleux.

Zircon très rare.

Mica (c'est un mica verdâtre du groupe de la Phlogopite).

Saussurite abondante.

Ilménite, magnétite et autres minéraux opaques. Il existe une petite quantité d'ilménite et de magnétite associée à des grains détritiques très obscurcis par de l'hydroxyde de fer, et paraissant presque complètement opaques en lumière transmise. Cependant, ces derniers grains montrent toujours à leur périphérie une zone étroite plus ou moins transparente qui les différencie de l'ilménite et de la magnétite.

Gypse rare, en grains anguleux. Ils sont rapidement identifiés dans les préparations par leur indice de réfraction inférieur à celui du baume de Canada.

Proportions :

| | |
|---|---|
| Quartz | 55 % |
| Gypse | 1 % |
| Ilménite, magnétite et autres minéraux opaques | 26 % |
| Zircon | 1 % |
| Mica | 3 % |
| Saussurite | 14 % |
| | 100 % |

Diagnose : Mélange des produits d'altération d'une roche basique (basalte de l'île) et d'une roche sédimentaire (présence du gypse). Voir la diagnose du n° 8, dont le n° 9 est voisin.

**n° 11.** KALAKAJORO. Sable de la queue SE, haut de plage, face Sud.

Quartz très rare en grains anguleux.

Gypse : l'attaque à l'H Cl laisse subsister les cristaux de gypse en plaquettes suivant le clivage parfait (010). Le diagnostic du minéral a été vérifié par la mesure des indices de réfraction et par la mesure de la biréfrengence sur une plaquette d'épaisseur uniforme de 73 microns d'épaisseur. Le retard, mesuré au comparateur de Bereck, était de 657,5 μ

$$\text{d'où} \qquad \frac{657{,}5\ \mu}{73\ \mu} = 0{,}009$$

Le signe de l'allongement, négatif pour le gypse, a été également vérifié. La discrimination rapide du quartz et du gypse qui coexistent dans le résidu est faite par l'observation de la frange de Becke.

Magnétite, ilménite, en grains roulés.

Mica très peu transparent, lamelles de clivage toujours usées.

Proportions :

| | |
|---|---|
| Quartz | 1 % |
| Magnétite - Ilménite | 18 % |
| Gypse | 53 % |
| Saussurite | 7 % |
| Mica | 21 % |
| | 100 % |

Diagnose : L'élément prépondérant qui est le gypse provient d'une roche sédimentaire, sans doute les calcaires et marnes éocènes et oligocènes de Kalakajoro. L'influence possible du trachyte de Kalakajoro n'a pu être décelée.

**n° 14.** KALAKAJORO. Sédiment de la prairie de Cymodocées du récif Nord, partie médiane.

Quartz en grains roulés de faibles dimensions.

Grenat almandin en grains très anguleux sans trace d'usure.

Indicolite à polychroïsme très accusé en bleu foncé.

Proportions :

| | |
|---|---|
| Quartz | 54 % |
| Ilménite, magnétite et autres minéraux opaques | 24 % |
| Mica noir | 8 % |
| Saussurite | 5 % |
| Grenat | 6 % |
| Indicolite | 3 % |
| | 100 % |

Diagnose : Aucun minéral caractéristique du trachyte. Présence du grenat et de l'indicolite, qui sont des minéraux des zones de métamorphisme du granite ou des schistes cristallins. L'abondance du quartz confirme cette attribution. Il est possible que ces éléments soient venus par l'intermédiaire de l'affleurement d'Eocène-Oligocène de cette île ; toutefois, ils sont au vent de lui, ce qui crée une difficulté.

**n° 17.** Antany Mora. Queue sous le vent. Sable, partie moyenne de la haute plage, face Nord de la queue.

Quartz en grains anguleux ou très peu roulés.

Gypse en petites lamelles de clivage très peu usées.

Magnétite et ilménite en grains presque toujours très roulés, mais parfois seulement émoussés.

Zircon ; ce minéral existe rarement en prisme complet avec ses deux pointements ; il est habituellement en fragments anguleux.

Proportions :

| | |
|---|---|
| Quartz | 60 % |
| Gypse | 3 % |
| Magnétite - Ilménite | 22 % |
| Mica noir | 2 % |
| Zircon | 9 % |
| Pyroxène | 2 % |
| Grenat | 1 % |
| Tourmaline | 1 % |
| | 100 % |

Diagnose : Le silicate de métamorphisme indique un schiste cristallin, mais l'abondance de minéraux opaques et la présence de pyroxène fait penser à une roche basique. Le sédiment résulte sans doute d'un apport des deux, mais l'apport par l'intermédiaire d'une formation sédimentaire ancienne (Eocène de l'île) est également possible.

**n° 22.** Antany Mora. Sable à minéraux noirs dans la partie supérieure de la haute plage, pointe NW de l'île.

Minéraux opaques : ilménite très prédominante, reconnaissable à son reflet en lumière oblique et à l'altération en leucoxène parfois visible.

Magnétite rare.

Diagnose : roche-mère basique.

**n° 34.** Nosy Valiha. Sable au Sud de la pointe Ouest, facies fin.

Quartz en grains anguleux.

Magnétite, ilménite en grains toujours plus ou moins roulés.

Amphibole verte (hornblende commune) avec clivage très serré.

Mica en plaquettes basales à contour arrondi.

Proportions :

| | |
|---|---|
| Quartz | 4 % |
| Magnétite - Ilménite | 72 % |
| Mica noir | 17 % |
| Amphibole | 1 % |
| Saussurite | 6 % |
| | 100 % |

Diagnose : roche mère : basalte.

**n° 38.** Nosy Valiha, côte WSW.

Quartz en grains plus ou moins roulés.

Magnétite et ilménite en grains roulés.

Hornblende commune en plaquettes à contour très arrondi.

Hornblende basaltique, en plaquettes, en grains ou en fragments de prisme possédant parfois un pointement.

Pyroxène en grains arrondis.

Proportions :

| | |
|---|---|
| Quartz | 64 % |
| Magnétite - Ilménite | 31 % |
| Mica noir | 2 % |
| Hornblende commune | 1 % |
| Hornblende basaltique | 1 % |
| Pyroxène | 1 % |
| | 100 % |

Diagnose : Les minéraux ferro-magnésiens et les minerais sont beaucoup moins abondants que le quartz. Les barylithes sont caractéristiques d'une roche basique, probablement un basalte (l'île est basaltique), mais l'abondance du quartz dénote une autre provenance que le basalte. Toutefois, il existe du quartz en filons dans le basalte de Nosy Valiha, et en particulier au point n° 33 on trouve du quartz en filon ou en géode avec des cristaux bien formés et caractéristiques. L'abondance du quartz au point 38 peut donc venir d'un apport du point 33 ou d'un autre lieu voisin de nature semblable.

**n° 39.** Nosy Valiha, pointe Ouest.

Très grande ressemblance avec le résidu insoluble du n° 38. La hornblende commune, la hornblende basaltique et le pyroxène ont les mêmes caractéristiques que précédemment.

Zircon sous la forme de prismes à deux pointements sans trace d'usure.

Indicolite à dichroïsme net : ng : bleu-verdâtre : np : vert-jaunâtre pâle.

Proportions :

| | |
|---|---|
| Quartz | 64,5 % |
| Magnétite - Ilménite | 30 % |
| Mica noir | 2 % |
| Hornblende commune | 1 % |
| Hornblende basaltique | 1 % |
| Pyroxène | 0,5 % |
| Zircon | 0,5 % |
| Indicolite | 0,5 % |
| | 100 % |

Diagnose : Mêmes remarques que pour le n° 38. La présence de l'indicolite, qui est un minéral fréquent des filons de quartz, fait penser que ce borosilicate d'alumine à la même origine.

**n° 42.** Baie Ramanetaka. Grand Récif, extrémité Est de la flèche de sable.

Les minéraux sont en très gros grains roulés, beaucoup plus volumineux que tous ceux qui ont été examinés plus haut.

Les minéraux opaques sont constitués par de petites concrétions ferrugineuses ou par des minéraux très altérés recouverts d'une pellicule d'hydroxyde de fer.

Proportions :

| | |
|---|---|
| Quartz | 70 % |
| Feldspath | 10 % |
| Concrétions ferrugineuses | 20 % |
| | 100 % |

Diagnose : Eléments sans doute empruntés au substratum néocomien-jurassique supérieur du récif, sous le vent duquel se trouve l'échantillon. Sur la composition d'un élément de roche zonée appartenant au Néocomien de ce lieu, voir ci-dessus, B, 6 (Grand Récif). En ce qui concerne la petite taille des minéraux dudit élément, noter que des minéraux plus gros peuvent bien exister dans d'autres échantillons.

**n° 43.** Baie Ramanetaka. Grand Récif, sable dans l'Ouest du récif.

Tous les minéraux sont de très petite taille, sauf quelques rares grains opaques qui sont plus volumineux que la moyenne.

Le quartz est en très petits grains toujours anguleux, parfois esquilleux, sans aucune trace d'usure.

Les minéraux opaques sont des minerais noirs (sans doute ilménite et magnétite) ; il existe cependant un petit nombre de grains ferrugineux.

Proportions :

| | |
|---|---|
| Quartz | 45 % |
| Magnétite, ilménite et grains ferrugineux | 40 % |
| Mica noir | 9 % |
| Zircon | 6 % |
| | 100 % |

Diagnose : L'abaissement du pourcentage de quartz, et l'augmentation corrélative des minéraux opaques jointe à la finesse des grains, tend à assigner au n° 43 une roche mère différente de celle de 42. Noter également l'absence de feldspath (comparer à 42) et la présence de mica noir et zircon. Ces minéraux peuvent provenir du basalte conjecturé sous la partie Ouest du récif : voir B, 6, et C, 5.

**n° 48.** Baie Ramanetaka. Récif Q.

Le quartz contient des inclusions abondantes ; ces inclusions sont disposées sans ordre ou alignées en files parallèles. Zircon rare, en prismes zonés.

Proportions :

| | |
|---|---|
| Quartz | 65 % |
| Magnétite, ilménite, débris à patine ferrugineuse | 34 % |
| Zircon | 1 % |
| | 100 % |

Diagnose : Le quartz possède des inclusions qui l'apparentent au quartz du n° 52 et surtout du n° 53. Voir aussi n° 49.

**n° 49.** Baie Ramanetaka. Partie Est du Récif Branchu P.

Le quartz contient des inclusions analogues à celles observées au n° 48.

Proportions :

| | |
|---|---|
| Quartz | 64 % |
| Magnétite - Ilménite | 36 % |
| | 100 % |

Diagnose : Parenté d'origine avec les échantillons, voisins, de l'Est de la baie (n° 51 à 53).

**n° 51.** Baie Ramanetaka. Surface du récif U.

Zircons zonés très caractéristiques de cette région avec le quartz à inclusions abondantes.

Proportions :

| | |
|---|---|
| Quartz | 52 % |
| Ilménite - Magnétite | 25 % |
| Zircon | 18 % |
| Mica noir | 5 % |
| | 100 % |

Diagnose : voir n° 52.

**n° 52.** Baie Ramanetaka. Bas de la plage de Langamena.

Hornblende basaltique faiblement dichroïque : ng : brun-foncé : np : brun pâle.

Quartz à inclusions abondantes.

Proportions :

| | |
|---|---|
| Quartz | 50 % |
| Ilménite - Magnétite | 34 % |
| Zircon | 8 % |
| Mica noir | 6 % |
| Hornblende basaltique | 2 % |
| | 100 % |

Diagnose : Grande analogie de composition minéralogique des résidus insolubles de 51 et 52. Voir n° 53.

**n° 53.** Baie Ramanetaka. Haut de la plage de Langamena. Concentration de minéraux lourds par triage des vagues.

Le résidu insoluble est extrêmement riche en minéraux lourds, principalement en zircon, qui présente de nombreux types zonés reconnus aussi dans les numéros 48, 51 et 52. Le quartz possède des inclusions analogues à celles observées dans les numéros 48, 49, 51 et 52.

Proportions :

| | |
|---|---|
| Quartz | 49 % |
| Ilménite - Magnétite | 27 % |
| Zircon | 20,5 % |
| Xénotime | 0,5 % |
| Corindon | 0,5 % |
| Tourmaline | 1 % |
| Sphène | 1 % |
| Indicolite | 0,5 % |
| | 100 % |

Diagnose : Les numéros 51, 52 et 53 possèdent des minéraux ayant les mêmes caractères. La roche-mère est un granite ou un gneiss, ou plutôt, vu la géologie générale de la région, une roche sédimentaire dont les éléments minéralogiques procèdent d'un granite ou d'un gneiss.

Le zircon (minéral lourd) est encore observé au point 48, mais le point 49 n'a été atteint que par le quartz (P.S. 2,65) à inclusions.

### 5. Les beach-rocks a galets de basalte et de crétacé

En général, les consolidations qui se forment sur les plages des régions chaudes (tropicales et désertiques), et qui ont été décrites sous le nom de beach-rock ou grès de plage, affectent seulement du sable ou des débris plus ou moins grossiers de corail. Mais, le long de la côte Nord-Ouest de Madagascar où existent des affleurements littoraux de basalte très étendus, il y a aussi du beach-rock englobant des galets ou de petits blocs anguleux de basalte (pl. XX, C). Nous avons déjà décrit un de ces affleurements, celui de la pointe Antsatramahavelona au Nord d'Analalava (Guilcher, 1956, p. 112-114 ; analyse faite par L. Berthois). Au cours de la présente mission, nous avons recueilli de nouveaux échantillons de beach-rock à galets de basalte, ou localisé dans des fissures du basalte à Berafia et à Nosy Valiha, et un échantillon de beach-rock à galets de Crétacé *pro parte* sur le Grand Récif de la Baie Ramanetaka. Nous les caractérisons ci-après.

**n° 6.** Berafia, entre plages Nord et Nord-Ouest, beach-rock dans fissures du basalte, premier échantillon (pl. XXX).

Aspect macroscopique : la roche est gris-clair ; elle renferme des graviers ou petits galets de basalte et des débris d'organismes macroscopiques, en particulier de nombreux fragments de Lamellibranches.

Au microscope : la roche apparaît très vacuolaire, mais un examen attentif montre que certaines vacuoles sont dues à des arrachements de ciment qui se sont produits pendant la confection des préparations microsropiques. Elle se compose de petits galets de roche éruptive, de débris organogènes, et d'un ciment.

Les débris de roche éruptive proviennent de roches basiques ; leur pâte est toujours très sombre ; ils renferment des microlites feldspathiques qui sont spécifiquement indéterminables. Les minéraux ferromagnésiens sont très rares : une seule section de pyroxène a été reconnue avec certitude.

Les éléments organogènes sont représentés par des débris de Lamellibranches, trop incomplets pour permettre leur attribution à une espèce, sauf lorsqu'ils présentent la structure fasciculée des *Cardium*. Ce sont donc les organismes microscopiques qui offrent le plus d'intérêt, mais les sections obtenues dans les préparations sont rarement favo-

rables à une détermination précise. Les organismes suivants ont été reconnus :

Foraminifères : Nummulites, Amphistégines, *Miliolidae.*
Algues : *Lithothamnium*, *Amphiroa.*
Divers : Spicules de Spongiaires calcifiés, débris de Bryozoaires, sections de piquants d'Oursins.

Il existe en outre de petits fragments de calcaire dont l'origine est indéterminable ; il est même impossible de discriminer avec certitude les débris calcaires d'origine organogène de ceux qui pourraient avoir une origine détritique.

L'ensemble est inclus dans un ciment.

Ce ciment est constitué par du carbonate de chaux aciculaire, dont les cristaux sont bien individualisés dans les géodes de la roche. Dans les parties des préparations où le ciment est plus complètement formé, on observe un feutrage d'aiguilles de carbonate de chaux. D'après Nestéroff (1956, p. 386), ces aiguilles seraient de l'aragonite dans les beach-rocks de la Mer Rouge qu'il a étudiés. Ici, la discrimination entre calcite et aragonite est très délicate par suite de l'exigüité des cristaux; le contrôle des caractères optiques discernables indique parfois l'aragonite, mais parfois aussi la calcite. Ainsi, les mesures d'indices de réfraction donnent souvent pour np des valeurs intermédiaires entre 1,48 (calcite) et 1,53 (aragonite), tandis que pour ng on obtient également des valeurs comprises entre 1,65 (calcite) et 1,68 (aragonite) (Cayeux, 1916, p. 211-216). Dans des échantillons de roche du même type que le beach-rock recueillis en Loire par l'un de nous (Berthois, 1957), les cristaux aciculaires sont en calcite. Mais la forme sous laquelle se présente le carbonate de chaux n'a pas une importance primordiale dans l'étude des beach-rocks. Il est très possible que les deux formes, calcite et aragonite, y existent successivement, peut-être même simultanément. Nestéroff (1956) a observé au premier stade de consolidation du beach-rock une étroite zone de carbonate de chaux amorphe qui n'a pas été retrouvée ici, même sous un très fort grossissement (x 496). Le ciment était partout cristallisé en très petits granules. A un stade plus avancé, ce ciment était parfois très largement cristallisé en grands éléments.

Sous un fort grossissement, il est parfois possible d'apercevoir, dans le ciment, des traces organiques : ce sont des bâtonnets ayant au plus une vingtaine de microns de longueur sur une largeur d'environ 1 à 2 microns. Cette largeur est irrégulière, car les bâtonnets présentent des renflements et des étranglements. Leur aspect les rapproche

des traces d'Algues perforantes du groupe des Schizophycées, mais ils en diffèrent par un tracé quasi-rectiligne.

Cependant, il faut noter que ces organismes ou traces d'organismes n'ont été observés que dans des zones entièrement cimentées des préparations, soit dans les aires à structure fibreuse, soit dans celles largement recristallisées qui paraissent représenter le stade final du ciment.

Ainsi, le rôle de ces organismes ne paraît pas devoir être effectif dans l'édification du ciment ; leur localisation dans les zones à ciment bien cristallisé fait plutôt penser à une action destructive du type de celle des Algues perforantes.

Une étude systématique de ces organismes serait sans doute fort intéressante, mais il faudrait la poursuivre sur de nombreux échantillons.

**n° 6.** Même lieu, second échantillon.

Les roches et les débris organogènes macroscopiques et microscopiques sont les mêmes que dans le premier échantillon, mais ici ils sont beaucoup moins abondants, sauf les Bryozoaires qui sont ici plus largement représentés que dans les préparations précédentes.

Le ciment est totalement différent de celui qui vient d'être décrit.

En effet, dans cet échantillon le ciment est cryptocristallin, et apparaît au microscope sous l'aspect d'un ensemble peu transparent teinté en brun-clair, sans doute par imprégnation de matière organique, mais aussi par une matière ferrugineuse. Ce ciment est parsemé de petits fragments de carbonate de chaux formant sous le microscope une véritable poussière de petites taches de calcite claire. Ces grains transparents sont si serrés qu'il est impossible d'isoler une aire suffisante de ciment pour déterminer si le Fer est à l'état d'oxyde ou de carbonate. Il est de même impossible de décider si les taches de calcite claire qui émaillent le ciment sont des grains détritiques, ou si elles représentent un début de cristallisation plus large de la masse cryptocristalline.

**n° 7.** Berafia, queue sous le vent. Beach-rock à galets de basalte (pl. XXVIII, A et B et XXXI, A).

Aspect macroscopique : en section plane faite à la scie, le ciment gris-clair renferme des galets et graviers noirâtres de basalte et de trachyte, et des débris organogènes. La roche est très friable et se désagrège pendant la taille et le polissage.

Au microscope, la roche est composée de : sections de graviers de basalte à pâte noire contenant des microlites feldspathiques du groupe de l'andésine. Les sections de graviers trachytiques sont plus rares que les précédentes ; elles contiennent de très nombreux microlites d'oligoclase-andésine.

Nous avons aussi observé une section de gravier à pâte siliceuse cryptocristalline, renfermant des microlites très petits qui sont actuellement entièrement silicifiés. Originellement, cette roche était sans doute une rhyolite, mais son état d'altération actuelle ne permet pas de l'affirmer.

Les débris organogènes sont assez abondants, mais de petite taille : ce sont, par ordre de fréquence décroissante :

sections de piquants d'Oursins ;
très petits débris de Lamellibranches ;
débris d'Algues du groupe des Lithothamniées ;
Foraminifères.

Le ciment est en général cryptocristallin, et garde cette structure sous de très forts grossissements. Mais, dans certaines parties, il apparaît cristallisé en très petits éléments de forme indéterminable. Les observations précédentes concernant la manière d'être de la matière organique et du Fer sont encore valables ici.

**n° 33.** Nosy Valiha. Côte Ouest, près de la pointe Ouest. Beachrock englobant du basalte (pl. XXXI, B).

Aspect macroscopique : en section plane faite à la scie, le ciment est gris-clair et renferme de petits graviers de basalte noir et des débris organogènes d'aspect porcelané.

Au microscope, la roche renferme :

des graviers de basalte à pâte noire contenant de nombreux microlites feldspathiques ;

des débris calcaires criblant le ciment ; tous ceux qu'il a été possible d'identifier avec certitude procèdent d'une origine organogène. Ce sont de petits fragments de Lamellibranches, de Bryozoaires, de Foraminifères, d'Echinodermes, de spicules calcifiés, etc. Certains autres sont couverts d'un réseau enchevêtré de Girvanella. Enfin, il existe également toute une faunule en éléments plus ou moins volumineux ou plus ou moins complets ; ce sont :

Foraminifères du groupe des Globigerinidae ;
Bryozoaires à formes rameuses ;
sections de piquants de Crinoïdes ;
Lithothamniums.

Le ciment est très fortement teinté par de la matière organique et et du fer. Une étude complète de ce ciment est rendue impossible par suite de la faible cohésion de la roche qui ne permet pas de donner aux préparations la faible épaisseur souhaitable. C'est donc seulement dans les zones d'arrachement ou sur les bords de la préparation que l'examen du ciment peut être plus complet. Dans ces zones périphériques, le ciment apparaît constitué de très petits granules de carbonate de chaux de 1 à 3 microns de diamètre très étroitement juxtaposés. Il n'apparaît ici aucune structure aciculaire analogue à celle du beach-rock de Berafia (n° 6).

**n° 47.** Baie Ramanetaka. Beach-rock du Grand Récif (pl. XXIX, A et B, et XXXI, C).

Aspect macroscopique : dans une lame plane taillée à la scie, la roche a une pâte gris-clair ; elle est très vacuolaire, et renferme des petits graviers et des petits galets noirs (basalte) ou gris-rougeâtre (trachyte). La roche est très friable, les éléments sont très faiblement agglomérés.

Au microscope, les éléments composants sont les suivants :

Roches et minéraux : grains de basalte à pâte sombre avec microlites de feldspath du groupe de l'andésine ;

grains de grès à ciment ferrugineux : ce sont très probablement des éléments détritiques issus du Crétacé dont le gisement est très proche ;

grains de grès à ciment calcaire (même remarque concernant l'origine) :

grains de quartz toujours anguleux, très abondants (même remarque concernant l'origine).

Organismes : fragments de Lamellibranches à structure fasciculée, débris de Bryozoaires, débris toujours roulés d'organismes indéterminables.

Ciment. Sous un fort grossissement, les grains apparaissent cernés d'une étroite couronne de petits granules de calcite. Vers les vacuoles de la roche, cette couronne se hérisse de très petits cristaux aciculaires terminés par des pointements aigus. Les remarques faites précédemment en ce qui concerne la discrimination de la calcite et de l'aragonite sont encore applicables ici.

Il n'existe aucune zone de carbonate amorphe analogue à celle décrite par Nestéroff (1956). Ceci est particulièrement net lorsque la couronne de granules enrobe un grain de quartz. Dans les rares zones où le ciment est plus largement développé, il est toujours cons-

tué par de très petits granules de calcite. Aucune recristallisation en grands éléments n'a été observée, et aucune plage des préparations ne présente de feutrage d'éléments circulaires analogues à ceux de Berafia (n° 6).

*Résumé et conclusion.*

L'étude lithologique de ces quelques beach-rocks de la région des Iles Radama a montré que les manières d'être du ciment pouvaient présenter d'importantes variations. Ces disparités expliquent sans doute partiellement les différences d'opinion des auteurs quant à l'origine et aux modalités de consolidation de ce ciment (Kuenen, 1933 ; Ginsburg, 1953 ; Ranson, 1955 ; Nestéroff, 1956). Il n'est sans doute pas exclu que les structures très différentes que nous avons observées dans le ciment puissent représenter des stades d'évolution progressive, par exemple du genre de ceux que Nestéroff décrit. Mais il faudrait davantage de prélèvements systématiques pour en décider ; nous nous contentons donc ici de décrire quelques formes particulières.

## 6. Analyses chimiques de quatre sédiments vaseux

Nous avons procédé à l'analyse chimique complète de quatre sédiments vaseux : n° 4 (vase littorale du Nord de Berafia), n° 12 (vase de la mangrove de la queue de Kalakajoro), n° 25 (vase du lagon entre Berafia et la barrière extérieure) et n° 28 (vase de la mangrove derrière la grande plage Ouest de Berafia). Le travail a été limité à quatre échantillons par suite de la très longue durée que nécessitent les analyses chimiques complètes (près de trois semaines de travail à deux personnes pour les quatre échantillons).

Dans ces analyses, nous avons distingué la fraction soluble dans l'HCl de la fraction insoluble. Ce procédé permet d'isoler les corps existant à l'état de carbonates ou d'hydrates de ceux existant à l'état de silicates. La fraction insoluble est analysée après fusion alcaline au carbonate de sodium additionné d'environ 1/5e de carbonate de potassium. Les analyses sont conduites suivant les méthodes ordinaires de l'analyse pondérale. La composition minéralogique probable est calculée suivant la méthode classique de calcul de la composition minéralogique virtuelle d'une roche éruptive, notamment en ce qui concerne les silicates calciques et ferro-magnésiens de la fraction insoluble. Mais il a été largement tenu compte, dans ces calculs, des observations microscopiques des résidus insolubles, et des résultats des analyses thermiques différentielles.

| | n° 4 | | n° 12 | | n° 25 | | n° 28 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $H_2O$ à 105° | 1,08 | | 4,26 | | 1,81 | | 6,92 | |
| $H_2O$ à 800° | 3,78 | | 4,19 | | 3,26 | | 0,22 | |
| *Fraction soluble dans HCl :* | | | | | | | | |
| $SiO_2$ | 0,30 | | 5,74 | | 0,05 | | 0,41 | |
| $Al_2O_3$ | 0,09 | | 0,04 | | 0,04 | | 0,42 | |
| $Fe_2O_3$ | 1,58 | | 4,75 | | 3,77 | | 2,97 | |
| CaO | 45,47 | 87,74 | 9,47 | 30,04 | 33,82 | 70,91 | 44,80 | 86,19 |
| MgO | 2,18 | | 1,23 | | 2,31 | | 1,28 | |
| $CO_2$ | 38,12 | | 8,81 | | 30,92 | | 36,31 | |
| *Fraction insoluble dans HCl* | | | | | | | | |
| $SiO_2$ | 3,25 | | 43,80 | | 16,25 | | 3,17 | |
| $Al_2O_3$ | 1,67 | | 12,05 | | 1,97 | | 0,38 | |
| FeO | 1,79 | | 2,92 | | 5,03 | | 1,98 | |
| CaO | 0,50 | 7,53 | 0,49 | 62,50 | 1,02 | 24,88 | 1,06 | 7,10 |
| MgO | 0,32 | | 0,21 | | 0,61 | | 0,51 | |
| $K_2O + Na_2O$ | » | | 3,03 | | » | | » | |
| | 100,13 | | 100,99 | | 100,86 | | 100,43 | |

Pour faciliter les comparaisons avec les analyses chimiques de dépôts similaires, dont les éléments constitutifs n'ont pas été fractionnés, nous avons aussi, dans le tableau suivant, donné les fractions solubles et insolubles de chaque analyse.

| | n° 4 | | n° 12 | | n° 25 | | n° 28 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 3,55 | | 49,54 | | 16,30 | | 3,58 | |
| $Al_2O_3$ | 1,76 | | 12,09 | | 2,01 | | 0,80 | |
| $Fe_2O_3$ | 1,58 | | 4,75 | | 3,77 | | 2,97 | |
| FeO | 1,79 | 95,27 | 2,92 | 92,54 | 5,03 | 95,79 | 1,98 | 93,29 |
| CaO | 45,97 | | 9,96 | | 34,84 | | 45,86 | |
| MgO | 2,50 | | 1,44 | | 2,92 | | 1,79 | |
| $CO_2$ | 38,12 | | 8,81 | | 30,92 | | 36,31 | |
| $K_2O+Na_2O$ | » | | 3,03 | | » | | » | |
| $H_2O$ total | | 4,86 | | 8,45 | | 5,07 | | 7,14 |
| | | 100,13 | | 100,99 | | 100,86 | | 100,43 |

Voici, à titre comparatif, la composition chimique d'un sable corallien recueilli par le *Challenger* (W. Collet, « Les dépôts marins » Paris, 1927, p. 58).

| | |
|---|---|
| $SiO_2$ | traces |
| $Al_2O_3$ | |
| $Fe_2O_3$ | 1,42 |
| $P_2O_5$ | |
| $C_aO$ | 50,27 |
| $M_gO$ | 3,00 |
| $CO_2$ | 42,28 |
| $H_2O$ à 800° (matière organique) | 2,78 |
| Mn | traces |
| Alcalis | traces |
| | 99,75 |

Il est à noter que les résultats de cette analyse sont assez voisins de ceux de l'analyse 4 (vase littorale du Nord de Berafia). Mais, dans notre échantillon, les apports terrigènes sont marqués par une plus grande abondance de la Silice insoluble et des hydroxydes de Fer et d'Alumine.

## Composition minéralogique probable calculée d'après les résultats des analyses chimiques

| | n° 4 | | n° 12 | | n° 25 | | n° 28 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Fraction soluble dans* HCl : | | | | | | | | |
| $SiO_2$ (soluble) | 0,18 | | 5,60 | | 0,05 | | 0,42 | |
| Giobertite $MgO\ CO_2$ | 4,62 | | 2,61 | | 4,87 | | 2,70 | |
| Calcite $CaO\ CO_2$ | 81,00 | 87,93 | 16,90 | 30,87 | 61,90 | 71,18 | 80,10 | 87,24 |
| Goethite $Fe_2O_3\ H_2O$ | 1,87 | | 5,60 | | 4,20 | | 3,40 | |
| Gibbsite $Al_2O_3\ 3H_2O$ | 0,26 | | 0,16 | | 0,16 | | 0,62 | |
| *Fraction insoluble dans* HCl : | | | | | | | | |
| Quartz $SiO_2$ | » | | 16,70 | | 7,70 | | » | |
| Corindon $Al_2O_3$ | 0,40 | | » | | » | | 1,12 | |
| Sillimanite $Al_2O_3\ SiO_2$ | 1,94 | | » | | » | | » | |
| Wollastonite $CaO\ SiO_2$ | 1,04 | | 1,04 | | 2,08 | | 2,08 | |
| Hypérotheire $MgO\ SiO_2$ | 0,80 | 7,48 | 0,50 | 65,39 | 1,50 | 25,08 | 1,30 | 8,20 |
| $FeO\ SiO_2$ | 3,30 | | 5,40 | | 9,50 | | 3,70 | |
| Orthose $K_2O\ Al_2O_3\ 6SiO_2$ | » | | 7,75 | | » | | » | |
| Albite $Na_2O\ Al_2O_3\ 6SiO_2$ | » | | 14,15 | | » | | » | |
| Kaolinite $Al_2O_3\ 2SiO_2\ 2H_2O$ | » | | 19,85 | | 4,90 | | » | |
| $H_2O$ et matière organique | | 4,50 | | 4,54 | | 3,26 | | 4,60 |
| | | 99,91 | | 100,80 | | 100,12 | | 100,04 |

## APPENDICE

### Liste des échantillons étudiés dans ce mémoire

1. Berafia, partie Nord de grande plage Ouest. Sable de la zone de mi-marée.
2. Berafia.Récif NW, à l'intérieur des têtes de nègre. Sable et gravier de mare entre prairies de Cymodocées.
3. Berafia, grande plage Ouest, centre-Sud. Haut d'estran. Sable.
4. Berafia, plage Nord, partie Sud, basses mers ordinaires. Vase entre les derniers affleurements de basalte vers le bas, juste avant les Cymodocées.
5. Berafia, plage Nord, partie centrale, hautes mers. Sable un peu teinté en ocre.
6. Berafia, entre plages Nord et Nord-Ouest. Beach-rock dans fissures du basalte.
7. Berafia, queue SSE. Beach-rock soudant des galets de basalte.
8. Berafia, extrémité de la queue SSE, face Ouest. Sable et gravier de la prairie de Cymodocées à quelques mètres en avant des galets.
9. Berafia. Queue SSE, partie médiane, face Ouest. Sable et gravier dans la prairie de Cymodocées.
10. Berafia. Côte SW, près de l'enracinement de la queue de galets, vase par fonds de 10 mètres.
11. Kalakajoro. Queue de sable SE, sable de haut de plage sur la face Sud.
12. Kalakajoro. Queue SE, vase de la mangrove de l'angle NE de la queue.
13. Kalakajoro. Lagune derrière le cordon littoral de la plage Ouest. Vase de mangrove.
14. Kalakajoro. Récif Nord. Sable et gravier de la prairie de Cymodocées, partie médiane.
15. Antany mora. Plage Nord. Sable de haut de plage.
16. Antany mora. Récif Nord, partie centre-Est. Sable et gravier de la crête externe.
17. Antany mora. Queue Est. Sable de la haute-plage, face Nord de la queue.
18. Antany mora. Queue Est. Vase de la mangrove Nord de l'enracinement de la queue.
19. Antany mora. Plage Nord. Sable du delta de plage.
22. Antany mora. Pointe NW. Sable à minéraux foncés dans la partie supérieure de la haute plage.
23. Berafia. Sol d'altération du basalte à l'Est de la plantation.
24. Barrière extérieure à l'Ouest de Berafia, par 14°04'S - 47°42'E Greenwich. Sable par 6 à 7 mètres de profondeur.

25. Lagon entre Berafia et la barrière extérieure. Vase par 14°03'S - 47°45'E Greenwich, profondeur 30 à 35 mètres.
26. Lagon entre Berafia et la barrière extérieure. Vase par 14°02'S - 47°46'30" E Greenwich, profondeur 25 à 30 mètres.
27. Berafia. Sol d'altération du basalte devant la maison de l'intendant.
28. Berafia. Vase de la mangrove derrière la grande plage Ouest.
29. Berafia. Delta de plage de la grande plage Ouest, niveau moyen de la mer. Sable.
32. Nosy valiha. Basalte altéré sur collines derrière la plantation, partie centre-Nord de l'île.
33 a. Nosy valiha. Côte Ouest, près pointe Ouest. Beach-rock englobant du basalte.
33 b. Nosy valiha, même endroit que 33 a. Quartz inclus dans basalte.
34. Nosy valiha. Plage au Sud de la pointe Ouest. Haut de plage. Sable, facies fin.
35. Nosy valiha. Grande plage SW, partie Nord. Haut de plage. Sable, facies grossier.
36. Nosy valiha. Queue SE. Vase de la partie interne de la mangrove.
38. Nosy valiha. Côte WSW. sable au niveau des basses mers ordinaires.
39. Nosy valiha. Sous la pointe Ouest. Sable vaseux au niveau des basses mers ordinaires.
40. Nosy valiha. Récif Ouest. Sable et gravier de la prairie à Cymodocées.
41. Nosy valiha. Récif NW. Sable et gravier de la crête externe.
42. Baie ramanetaka. Grand Récif. Extrémité Est de la queue. Sable.
43. Baie ramanetaka. Grand Récif. Partie Ouest du récif. Sable.
44. Baie ramanetaka. Grand Récif. Echantillon de l'affleurement Est de Crétacé - Jurassique supérieur.
45. Baie ramanetaka. Grand Récif. Echantillon de l'affleurement central de Crétacé - Jurassique supérieur.
46. Baie ramanetaka. Grand Récif. Echantillon de l'affleurement Ouest de Crétacé - Jurassique supérieur.
47. Baie ramanetaka. Grand Récif. Beach-rock et galets du beach-rock.
48. Baie ramanetaka. Récif Q. Sable.
49. Baie ramanetaka. Partie Est du Récif Branchu P. Sable.
50. Baie ramanetaka. Récif U. Vase dans lagon, profondeur de 7 mètres à grande basse mer.
51. Baie ramanetaka. Récif U, surface. Sable et gravier entre lagon et crête à Porites (près de la crête).
52. Baie ramanetaka. Plage de Langamena. Bas de plage. Sable vaseux.
52. Baie ramanetaka. Plage de Langamena. Haut de plage. Sable à minéraux concentrés par l'action des vagues.

*Note.* — Les échantillons sont localisés sur les figures 1, 3, 4, 5, 6, 23, 26 et 30.

## ENGLISH ABSTRACT

In this paper are described in detail the coral reefs and related coastal forms and sediments of a small part of the Northwestern coast of Madagascar (fig. 1), where investigations were carried out during the Summer of 1956. The general features of the reefs of this region were given in a previous report (GUILCHER 1956).

The first part deals with the Radama Islands (fig. 3, 4, 5, 6,) which are fringed by well-developed reefs on their windward, North to West, coasts (pl. XVIII). On the outer side of the reefs, the well-known spurs-and-grooves structure often occurs : it is tentatively suggested that both erosion and building by corals are playing a part in it. Negro-heads distribution (pl. XX, A) is in good agreement with wave attack and its local variations, as shown by a wave refraction diagram (fig. 2). Inside of the outer ridge are extensive sea-grass meadows in the boat-channel. On beaches, deltas are built up in front of inlets breaching the beach ridges, inside of which are found ponds or swamps with small mangroves. Living reefs are poorly developed in front of the deltas, as a consequence of excess in sedimentation. On the leeward side of the islands, sandy « tails » were built (fig. 16, pl. XXI and XXII), except in Berafia Island where the tail is made up of basaltic pebbles. The study of these tails seems to indicate that small modifications in mean wind direction occurred since the Flandrian transgression. Some old reef-flats, as well as superposed notches in calcareous rocks (pl. XXIII), bear testimony of drops in sea-level since the Flandrian maximum. The coastal sediments fall into four groups : volcanic pebbles, sometimes well rounded, sometimes very angular (fig. 14) ; very well-sorted beach sands (fig. 11 and 12) ; outer ridges and boat-channels sands and gravels (fig. 10, 19, 22) ; muds occurring in mangroves, along some parts of the coast, and in deep lagoons, including a rather important coarse fraction, and showing similar granulometric curves (fig. 17, 20, 21) although they are found in very different positions.

In the second part, the Ramanetàka Bay (fig. 23) is studied. The most remarkable feature in this bay is the tremendous growth of coral, probably as a consequence of rather strong tidal currents renewing the sea-water. The waves are exceedingly gentle here, so that this vigorous reef building is not counteracted by an important erosion. Four reef types are distinguished, the youngest of all being the coral patches and knolls type (fig. 25) ; a more mature type consists of elongated reefs (pl. XXIV, A and fig. 24) ; but the most interesting type, no previous description of which was found by us in the literature, derives from coalescences between two or three adjoining elongated reefs, encircling

small lagoons which are former parts of the bottom of the open sea in the bay. More than one lagoon may thus exist in a single reef. Many examples are to be seen on fig. 24, 26, 27 and 30, and on plates XXIV, B, XXV, XXVI and XXVII (especially fig. 26 and pl. XXVI). Different stages in the filling up of the lagoons are described. A fourth, more mature, type is found where the lagoon no longer exists (B and C reefs on fig. 27). The largest reef in the bay (Grand Récif, fig. 30) does not belong to this sequence : it is built upon a Cretaceous basement outcropping in three places, and perhaps upon a concealed volcanic basement in its Western part. The granulometric groups of sands, gravels and muds of the Radama Islands are found here again, so that the sedimentary environment of this region has a strong unity.

In the third part are exposed the results of sedimentological analyses : calcium carbonate content in the sediments (often, altough not always, low in the muds) ; nitrogen content ; thermal differential analyses (fig. 33), which point out the presence of abundant kaolinite in some muds, thus showing they are partly coming from lateritic soils of the islands ; study of minerals, especially heavy minerals, in the insoluble fraction ; study of beach-rocks agglomerating volcanic or cretaceous pebbles (pl. XXVIII to XXXI). The cement in the beach-rocks is highly variable in composition : sometimes it consists of acicular calcium carbonate, in which individual crystals are well exposed, but it is almost impossible to distinguish in it calcite crystals from aragonite ones ; in other samples, the cement appears, on the contrary, to be cryptocrystalline, even under very strong magnification of the microscope. Thus, the beach-rock problem seems to be very intricated, and it is suggested that the disparities actually found in its forms probably explain, in part at least, the differences in opinions expressed about its processes of formation. Four full chemical analyses are also given : they concern mud samples.

## BIBLIOGRAPHIE

Carte marine fraçaise n° 4379 à 1/100.000e, de la Baie Ampasindava à Nosy Saba.

Photographies aériennnes verticales de l'Institut géographique National à 1/48.000 environ, mission 015, nos 351 et 352, 444 et 445 ; mission 017, nso 006 à 012. 045 à 049, 054 à 065.

Berthois (L.), 1950. — Méthode d'étude des galets. Applications à l'étude de l'évolution des galets actuels. — *Rev. Géomorph. Dynam.* (Paris), 1. p. 199-225.

1952. — Abaques pour le calcul des indices des galets. — *Rev. Géomorph. Dynam.* (Paris), 3, p. 199-205.

— 1954. — Construction d'une carte des vagues. — *Rev. Géomorph. Dynam.* (Paris), 5, p. 69-75.

— 1957. — Sur un banc consolidé flandrien dans l'estuaire de la Loire. — *Bull. Soc. géol. Fr.* (Paris), (6), VII, p. 539-544.

Bésairie (H.), 1934. — Carte géologique d'Anorotsangana à 1/200.000, n° 349 et notice explicative. Tananarive.

— 1936. — Recherches géologiques à Madagascar. La géologie du Nord-Ouest. — *Mém. Acad. Malgache* (Tananarive), 21, 258 p.

— 1952. — Le bassin de Majunga. — Trav. Bur. Géol. (Tananarive), n° 38, 95 p.

Cailleux (A.), 1945. — Distinction des galets marins et fluviatiles. — *Bull. Soc. géol. Fr.* (Paris), (5), XV, p. 375-404.

Cailleux (A.) et Bouillet (G.), 1947 à 1949. — L'indice d'émoussé. — *C. R. Somm. Séanc. Soc. géol. Fr.*, 1947, p. 250-252 ; 1948, p. 165-167 ; 1949, p. 34-36, 223-224, 255-256.

Carrigy (M. A.), 1956. — Organic sedimentation in Warnbro Sound, Western Australia. — *J. Sed. Petrol.* (U.S.A.), 26, n° 3, p. 228-239.

Cayeux (L.), 1916. — Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires. — Paris, Imp. Nat.

Cloud (Preston J.), 1952. — Preliminary report on geology and marine environments of Onotoa Atoll, Gilbert Islands. — *Atoll Research Bull.* (Washington), n° 12, 73 p.

Daly (R. A.), 1934. — The changing world of the Ice Age. — New Haven, Yale Univ. Press, 271 p.

Emery (K. O.), Tracey (J. I. Jr.), Ladd (H. S.), 1954. — Geology of Bikini and nearby atolls. — *Geol. Surv., Prof. Paper* 260 A. Washington, p. 1-265.

Fairbridge (Rh. W.), 1952. — Multiple stands of the sea in post-glacial times. — *Seventh Pacific Science Congress*, 3, 3 p.

Gill (E. D.), 1947. — The study of eustatic changes of sea level. — *Austral. J. Sc.*, 10, 3, p. 63-67.

Ginsburg (R. N.) 1953. — Beach-rock in South Florida. — *J. Sed. Petrol.*, 23, p. 85-92.

Guilcher (A.), 1955. — Géomorphologie de l'extrémité septentrionale du Banc Farsan (Mer Rouge). — *Ann. Inst. Océanogr.* (Paris), 30, p. 55-100.

— 1956. — Etude géomorphologique des récifs coralliens du Nord-Ouest de Madagascar. — *Ann. Inst. Océanogr.* (Paris), 33, p. 65-136.

— 1957. — Un cas d'économie tropicale de plantation : les Iles Radama (Madagascar). — *Les cahiers d'Outre-Mer* (Bordeaux), 10, p. 23-33.

— 1958. — Mise au point sur la géomorphologie des récifs coralliens de Madagascar et dépendances. — *Mém. Inst. sci Madag.*, F, II.

JOHNSON (D. W.), 1919. — Shore processes and shoreline development. — New York, 584 p.

KUENEN (Ph. H.), 1933. — Geology of coral reefs. — *Snellius Exped. in the Eastern part of the Nethert. East Indies*, 1929-30, V, 2 Utrecht, 126 p.

LACOMBE (H.), 1953. — Méthode de tracé direct des orthogonales de houle à partir de la formule finie de propagation. — *Bull. Com. Océan. et Etud. des Côtes* (Paris), 5, p. 80-98.

MUNK (W. H. ) et SARGENT (M. C.), 1954. — Adjustment of Bikini atoll to Ocean waves. — *Geol. Surv., Prof. Paper 260 C*, Washington, p. 275-280 (et *Trans. Amer. Geophys. Un.*, 29, 1948, p. 855-860).

NESTÉROFF (W D.), 1955. — Les récifs coralliens du Banc Farsan Nord (Mer Rouge). — *Ann. Inst. Océanogr.* (Paris), 30, p. 1-54.

— 1956. — Le substratum organique dans les dépôts calcaires, sa signification. — *Bull. Soc. Géol. Fr.* (Paris), (6) VI, p. 381-390.

NEWELL (Norman D.), 1954. — Reefs and sedimentary processes of Raroia. — *Atoll Research Bull.* (Washington), n° 36, 35 p.

NICHOLS (R. L.), 1948. — Flying bars. — *Amer. J. Sc.* (U.S.A.), 246, p. 96-100.

RANSON (G.), 1955. — La consolidation des sédiments calcaires dans les régions tropicales. — *C.R.Ac.Sc.* (Paris), 240, 17 janv. et 5 fév., p. 329-331 et 640-642.

TRICART (J.) et SCHAEFFER (R.), 1950. — L'indice d'émoussé des galets, moyen d'étude des systèmes d'érosion. — *Rev. Géomorph. Dynam.*, 1, p. 151-179.

VERSTAPPEN (H. T.), 1953. — Djakarta Bay, a geomorphological study on shoreline development. — Th. Sc. Utrecht, 101 p.

MÉMOIRES DE L'INSTITUT SCIENTIFIQUE DE MADAGASCAR
Série F. — Tome II. — 1958

# ETUDE HYDROLOGIQUE DE L'ESTUAIRE DE FASCENE A NOSY BE (MADAGASCAR) DURANT LA SAISON DES PLUIES 1956

par

M. MENACHE

L'étude des estuaires pose à l'océanographe physicien tout un ensemble de questions théoriques et pratiques de haut intérêt. Depuis que les recherches de PRENANT et DUVAL ont montré que le flot de marée et l'eau douce ne se mélangeaient pas instantanément mais pouvaient se superposer, ménageant des poches salées au sein d'un milieu fluviatile, les zoologistes et les botanistes ont recherché, dans les modalités de cette superposition et dans les conditions du mélange, l'explication des faits de répartition estuarine. Ils n'y recherchaient pas seulement les raisons de répartitions en apparence aberrantes, mais aussi la prévision du comportement des animaux et des plantes dans un estuaire donné.

Les estuaires ont été de tous temps les points d'embarquement du bois d'œuvre, les points de mouillage des bateaux, des zones d'intense navigation artisanale ou industrielle. Or, la répartition des eaux douces et salées, leur mélange rapide ou lent, conditionnent la répartition des tarets destructeurs du bois d'œuvre ou des coques en bois, la densité et la rapidité de développement des Algues, des Hydraires, des Ascidies et des Bryozoaires qui encrassent les coques de métal ou de bois, en région tropicale la vitesse de croissance des massifs de coraux. De même, c'est du mélange des eaux douces et salées associé aux mouvements des marées que dépendent une série d'effets physiques : corrosion des métaux immergés (coques, chaînes, palplanches, pylônes), flocculation et précipitation des argiles colloïdales arrachées par les fleuves aux zones qu'ils traversent (et par suite zone de sédimentation et comblement des ports). De ces effets physiqes dépendent encore d'autres faits biologiques : définition des régions de ponte ou de concentration des Poissons en fonction de la turbidité, de la salinité et de la température.

Ces quelques exemples suffisent à montrer l'importance de l'étude des estuaires et l'intérêt qu'il y aurait à définir les conditions particulières du mélange des eaux dans chaque grande région. Ceci a été si bien compris que dans beaucoup de pays les estuaires ont retenu l'attention des océanographes, et cela en France (où M. MÉNACHÉ a lui-même étudié un estuaire près de Concarneau), en Angleterre (où l'on sait l'œuvre du laboratoire maritime de Plymouth) aussi bien qu'en Australie.

Mais les études faites en région tropicale sont relativement peu nombreuses et pourtant les conditions spéciales de température, et souvent de composition des eaux douces (en pays latéritisé) qui y règnent, rendent leur examen détaillé particulièrement nécessaire. On ne peut en effet se borner à extrapoler pour ces régions à partir des faits obtenus en climat tempéré. A Madagascar la côte Ouest, avec la série des grands fleuves qui y aboutissent (Onilahy, Mangoky, Tsiribihina, Manambolo, Mahavavy du Sud, Betsiboka, Mahajamba, Sofia, Sambirano, Mahavavy du Nord, pour ne citer que les principaux), et les problèmes économiques associés (ports, pêche), méritait au premier chef une analyse des conditions réalisées. Avant de procéder à l'étude des grands estuaires, étude que les conditions géographiques rendraient nécessairement plus superficielle, il paraissait indispensable d'examiner en détail les faits sur un estuaire de dimensions modestes, aisément accessible.

C'est ce qui a motivé la présente étude dont l'objet était de définir — dans les conditions particulières du climat du Sambirano — les modalités du mélange des eaux salées de flux et des eaux douces de la rivière et ce qui a entraîné le choix de l'estuaire de Fascène. Celui-ci, par sa proximité d'avec la Station de Nosy Be et par ses caractères en somme classiques, convenant parfaitement à une première confrontation.

R. PAULIAN

***

## ESTUAIRE DE FASCÈNE

L'estuaire de Fascène se situe à l'Est de Nosy-Bé. En amont, il peut être délimité par le pont routier qui conduisait à l'ancien terrain d'aviation. Ce pont n'est en effet pratiquement jamais atteint par la marée. A partir de ce pont, le cours d'eau serpente suivant un dessin sinueux (fig. 1) entre la route qui mène au village de Fascène et l'actuel terrain d'aviation et débouche à environ 1.400 m du pont, dans une large baie peu profonde (baie de Fascène). Cette baie se

trouve barrée vers le large par un petit îlot volcanique qui peut correctement servir à délimiter hydrologiquement l'estuaire vers l'aval.

En amont du pont routier, il n'y a pratiquement pas d'eau de mer ; en aval de l'îlot, et sauf sur une très mince couche superficielle, on trouve pratiquement de l'eau de mer pure.

La longueur totale de l'estuaire ainsi délimité (pont routier-îlot) est légèrement inférieure à 3 km (2.900 mètres environ). Le mélange des eaux douce de la rivière et de mer du large se fait entre ces deux limites, et notre étude s'est bornée à cet intervalle.

Entre le pont et le point où l'estuaire débouche dans la baie (embouchure) la largeur moyenne varie entre 10 et 20 mètres. Dans cette partie de l'estuaire, la profondeur moyenne (aux mi-marée) varie considérablement, d'un point à un autre, de quelques centimètres à 3,5 m.

Fig. 1. — Plan de l'estuaire de Fascène et position des Stations fixes d'observation.

La pente du sol, le long du chenal, ne varie pas d'une façon continue. Quand on parcourt ce chenal dans un certain sens, on trouve des montées et des descentes (cf. fig. 2). Certaines dépressions, barrées dans les deux sens par des talus plus élevés, se remplissent en pleine mer, mais ne se vident pas totalement de leur eau salée lorsque la marée se retire. La plus grande de ces dépressions rencontrées, profondeur moyenne 3,5 m, correspond à une fosse au voisinage d'un parc à bœufs (Station IV).

Entre l'embouchure et l'îlot, la baie de Fascène a un fond peu accidenté. Aux grandes marées, presque toute la baie découvre par

basse-mer, révélant un chenal ramifié où la profondeur, toujours faible, varie d'une ramification à une autre.

Le fond est recouvert de sable et de gravier, sauf en quelques endroits de la rive près de l'embouchure, et en quelques points de la baie, où l'on trouve de la vase.

Le chenal, entretenu par le cours d'eau douce, est toujours recouvert de gravier.

La figure 1 qui reproduit le tracé de l'estuaire à l'échelle 1/15.000 est tirée d'une photographie aérienne verticale qui nous a aimablement été communiquée par le Service géographique de Madagascar.

### Eléments de la marée

Les éléments de la marée (heure et hauteur) auxquels se rapportent nos différentes observations, et qui sont menionnés sur les figures et aux tableaux d'observations, sont tirés des indications de l'Annuaire des Marées pour le port d'Hellville, proche de l'estuaire de Fascène.

Toutes les valeurs des heures et hauteurs de pleine et basse mer figurant sans mention spéciale dans cette étude se rapportent au port d'Hellville.

### Observations

Elles ont porté sur la température, la salinité et l'oxygène dissous. Elles ont eu lieu en morte eau et en vive eau, par pleine mer, basse mer et aux deux mi-marées.

Nous disposions pour nos déplacements sur le cours d'eau d'une embarcation pneumatique à rames, plutôt lente, alourdie par le matériel de travail qui s'y trouvait. Très souvent nous étions contraint de quitter l'embarcation et de la porter à bras pour lui faire franchir des passages obstrués par des épaves (troncs d'arbre, touffes de bambou) ou insuffisamment profonds. Une série d'observations ayant pour objet d'étudier la structure hydrologique de l'estuaire à un instant donné de la Marée (PM, BM, mi-marée) durait généralement deux heures. Nous devions donc la commencer une heure trop tôt et la terminer une heure trop tard.

Dans ces conditions, la simultanéité des observations se rapportant à un instant donné de la marée était difficile à admettre. Pour nous faire une idée de l'erreur commise par cette non simultanéité, des séries d'observations rigoureusement simultanées ont été effectuées les 3 et 10 juin (successivement morte eau et vive eau) d'heure en heure, environ entre 8 et 17 h 30, en 7 points répartis le long de l'estuaire (Stations I à VII, fig. 1). Ces observations ont porté sur la salinité seulement. Nous y reviendrons un peu plus loin.

Pour faire nos observations toujours aux mêmes points, nous avons, à deux reprises, planté des perches graduées le long du chenal. Ces perches ont été, les deux fois emportées par des crues violentes et nous avons dû finalement renoncer à ce procédé. De ce fait, les stations d'observation ont été choisies, chaque fois, par rapport à des repères voisins (arbres, parc à bœufs, forme caractéristique de la rive...). Elles ne se faisaient donc pas rigoureusement aux mêmes endroits et *pas toujours dans le chenal*. Le tracé du profil du fond se trouve ainsi légèrement modifié d'une série d'observations à une autre.

### Etude de la marée et observations simultanées de la salinité le long de l'estuaire

L'Annuaire des Marées des Territoires français d'Outre-Mer et de quelques Ports étrangers pour l'an 1955 fournit des indications sur les heures et hauteurs des PM et BM dans le port d'Hellville. Nous avons voulu savoir, d'une part, si ces caractéristiques de la marée étaient les mêmes à l'entrée de la baie de Fascène et étudier, d'autre part, le mode de propagation de la marée dynamique le long de l'estuaire.

Cette étude a été faite le 3 juin en morte eau et le 10 juin en vive eau, environ de 8 h à 17 h 30. Sept stations réparties le long de l'estuaire ont été choisies et concrétisées par des perches graduées plantées dans le chenal. Nous nous trouvions vers la fin de la saison des pluies et les perches ont pu être maintenues en place durant le temps nécessaire.

Voici la position de ces stations, dont les emplacements sont marqués sur la fig. 1 :

| Station N° | | Distance de l'entrée de la baie (ilot St. I) | Distance de l'embouchure (St. III) |
|---|---|---|---|
| I | Ilot ..... | 0 m | 1 450 m |
| II | Palétuviers ..... | 1.040 m | 410 m |
| III | Embouchure ..... | 1.450 m | 0 m |
| IV | Parc à bœufs ..... | 1.770 m | 320 m |
| V | Mi-distance entre IV et VI ..... | 2.150 m | 700 m |
| VI | Point d'accès à la rivière à partir de la route .... | 2.550 m | 1.100 m |
| VII | Pont routier ..... | 2.870 m | 1.420 m |

A toutes les observations hydrologiques que nous avions faites jusqu'en juin, nous n'avons jamais trouvé trace d'eau de mer devant le pont routier. Ce point ne semble donc pas affecté par la marée et il

était en tous cas inutile d'occuper la Station VII durant la Marée de morte eau du 3 juin.

Nous avons voulu vérifier que les marées de vive-eau des 9 et 10 juin (amplitude moyenne 3,7 m) n'atteignaient pas non plus cette Station. Celle-ci a donc été occupée le 9 juin de 15 h 35 à 17 h 40 durant les deux heures qui encadrent la pleine mer à Hellville (PM à 16 h 36). Durant ces deux heures, la perche graduée a été continuellement surveillée et des échantillons d'eau ont été prélevés toutes les demi-heures. Aucune dénivellation sensible n'a été observée et tous les échantillons récoltés avaient une salinité nulle.

Ces constatations nous ont autorisé à ne pas occuper davantage la Station VII le 10 juin, ce qui nous a permis de faire l'économie d'un observateur.

La station I (îlot) a été occupée par l'auteur, les Stations II à VI par cinq observateurs improvisés et hâtivement initiés à ce genre de travail.

Il ne nous a pas été possible d'augmenter davantage le nombre des stations d'observation par suite de la difficulté de rassembler un plus grand nombre d'observateurs compétents et surtout de pirogues (1).

Durant les deux journées d'observations, les six perches graduées placées aux Stations I à VI ont été continuellement observées et le niveau de l'eau noté à intervalles de temps rapprochés, environ toutes les minutes au voisinage des PM et BM, cet intervalle de temps augmentant progressivement jusqu'au quart d'heure vers la mi-marée.

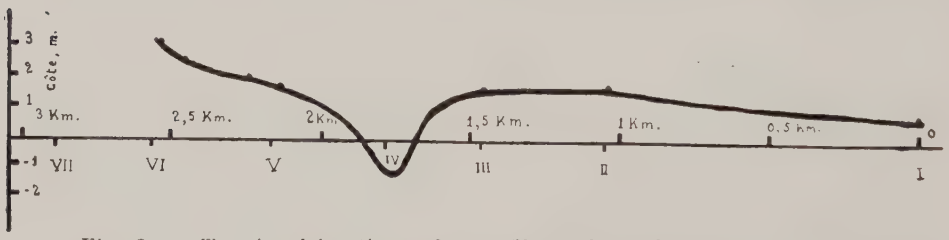



Fig. 2. — Tracé schématique du profil du fond du chenal suivant l'axe de l'estuaire, avec les positions des Stations fixes d'observation. Les côtes sont rapportées au zéro des cartes marines.

Les perches ont été graduées en décimètres et les lectures ont été interpolées au centimètre. Au voisinage des pleine et basse mer, un double-décimètre était attaché contre la perche, permettant ainsi une

(1) Nous tenons ici à exprimer notre respectueuse gratitude à Monsieur le Mpanjaka Amada, Gouverneur, Chef des Tribus Sakalava Bemihisatra, dont l'autorité nous a valu la sympathie active de la population de Fascène et assuré le concours des pirogues dont nous avions besoin les 3 et 10 juin, et dont certaines ont dû être amenées du village voisin d'Ambatozavavy.

estimation précise des variations du niveau de l'eau et une détermination suffisamment exacte des sommets de la courbe de marée.

Ces observations, outre les renseignements qu'elles nous ont fourni sur la marée, nous ont permis de déterminer avec une précision satisfaisante par rapport au zéro des cartes marines, la cote du fond aux Stations I à VI, et d'avoir ainsi une image schématique du profil de ce fond suivant l'axe de l'estuaire (fig. 2).

Nous avons par ailleurs profité de l'existence simultanée de six observateurs échelonnés le long de l'estuaire pour faire procéder à des prises d'échantillons d'eau d'une façon parfaitement synchrone, d'heure en heure, certaines de ces prises d'échantillons se situant aux instants exacts de pleine mer, de basse mer et de mi-marée à Hellville.

Ces échantillons d'eau ont été récoltés sans précautions spéciales, en vue seulement de la détermination de la salinité. Il n'était en effet guere possible d'espérer obtenir d'observateurs hâtivement improvisés, ni des observations correctes de la température ni, dans la collecte et la manipulation des échantillons d'eau, les précautions indispensables au dosage de l'oxygène dissous.

Nous avons pu ainsi tracer d'heure en heure le profil instantané des isohalines le long de l'estuaire durant une marée de morte-eau et une marée de vive-eau (fig. 10 à 28).

### Matériel et méthodes d'observations

A chaque station, et pour les profondeurs supérieures à 50 cm, les observations étaient faites à quatre profondeurs régulièrement réparties : surface, fond et deux profondeurs intermédiaires. Pour des profondeurs inférieures ou égales à 50 cm, le nombre d'observations était réduit à trois ou même à deux (surface et fond).

#### Observations en surface — bouteilles a conservation des échantillons d'eau

L'échantillon de surface était directement recueilli à l'aide de la bouteille qui devra le conserver jusqu'au moment des analyses (bouteille à conservation). Il s'agit d'une bouteille en verre de 200-300 ml, portant gravé un numéro d'identification, fermée soit à l'aide d'un bouchon en verre rodé, soit par un système analogue à celui qui équipait les anciennes canettes à bière.

La bouteille est d'abord remplie d'eau de surface et maintenue une minute immergée dans la couche superficielle. Un thermomètre au 1/10° C y est alors plongé et la température notée.

La bouteille est ensuite vidée, puis remplie à nouveau avec précautions de manière à éviter toute agitation à l'intérieur et tout brassage d'air. Pour cela, elle est d'abord maintenue presque horizontale,

une partie seulement de l'orifice se trouvant sous le plan d'eau. L'eau y pénètre doucement. Au fur et à mesure que la bouteille se remplit, on en fait basculer le fond jusqu'à la position verticale finale. Totalement pleine, elle est bouchée de façon à éviter d'y emprisonner de l'air.

### Observations au-dessous de la surface — Bouteille a prélèvement

Les prélèvements au-dessous de la surface sont faits à l'aide d'une bouteille en verre (fig. 3), d'un litre de capacité, ayant, outre l'orifice classique à sa partie supérieure, un second orifice horizontal au niveau de son fond.

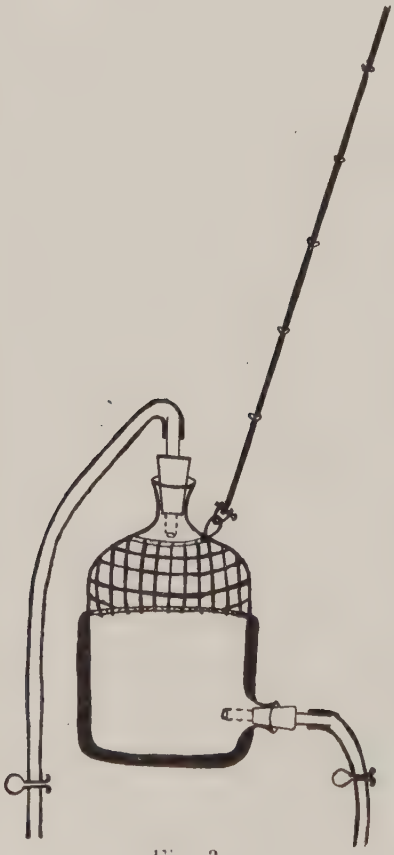


Fig. 3.
Bouteille à prélèvement.

Un bouchon en caoutchouc, traversé par un tube de verre de quelques millimètres de diamètre et de 5 à 6 cm de long est enfoncé dans chacune des deux ouvertures. Le tube de verre supérieur se termine par un tuyau en caoutchouc de 4 m de long. Une pince métallique permet, à volonté, d'obturer ou d'ouvrir ce tuyau en caoutchouc.

La bouteille est lestée par un manchon cylindrique en plomb et suspendue à une corde graduée en mètre.

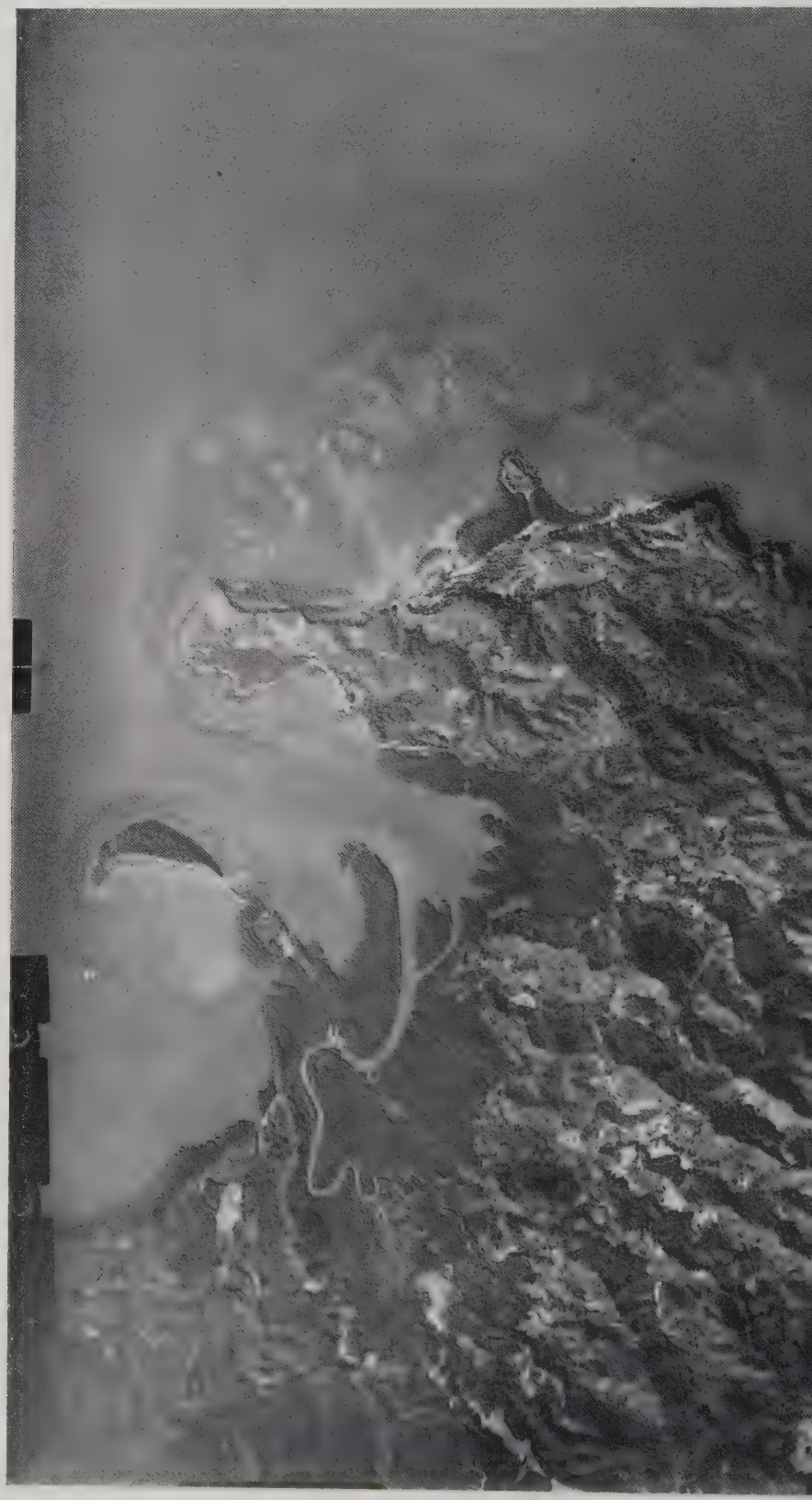
Pour procéder à un prélèvement d'eau, le tuyau de caoutchouc est d'abord obturé et la bouteille rapidement descendue à la profondeur désirée. Elle est maintenue verticale par le lest en plomb. Au cours de la descente, une quantité négligeable d'eau, provenant des couches supérieures, arrive à pénétrer dans la bouteille. La pince est alors desserrée, l'air contenu dans la bouteille s'échappe par le tuyau de caoutchouc et l'eau pénètre doucement par la tubulure inférieure. Suivant la profondeur de l'immersion, la bouteille est remplie en 2 à 3 minutes. Le tuyau de caoutchouc est alors obturé et la bouteille rapidement remontée.

Un tuyau de caoutchouc d'environ 15 cm de long est rapidement adapté au tube de verre inférieur et plongé dans une bouteille à conservation, *son extrémité atteignant le fond de la bouteille.* La pince

PLANCHE XXXII

Vue aérienne verticale de Fascène

*Photo Service Géographique de Madagascar.*



est desserrée ; l'eau remplit la bouteille à partir du fond et le trop-plein s'écoule par le haut. La quantité d'eau entrée en contact avec l'air primitivement contenu dans la bouteille à conservation est progressivement évacuée et remplacée par une eau n'ayant pas eu de contact avec l'atmosphère. On laisse ainsi s'écouler environ 500 ml, puis on retire doucement le tube de caoutchouc et on bouche la bouteille à conservation, en évitant d'y enfermer de l'air.

On note enfin le numéro de la bouteille à conservation.

### Ordre des titrations

A la fin d'une série d'observations échelonnées le long de l'estuaire, les échantillons d'eau sont ramenés au laboratoire et l'oxygène dissous titré dans les quelques heures qui suivent. Les flacons sont ensuite bouchés jusqu'au moment où la salinité pourra être titrée.

### Détermination de l'oxygène dissous

Méthode de Winkler modifiée par Krogh (**7,8**) : la réaction de réduction se passe dans le corps d'une seringue-pipette de précision, à l'abri de tout contact avec l'air atmosphérique.

### Seringue-pipette de Krogh

Il s'agit d'une seringue de précision en verre (fig. 4, *a*) parfaitement cylindrique et rectiligne. La face inférieure P' du piston est taillée suivant un plan perpendiculaire aux génératrices du cylindre. Rodage soigné, assurant un contact parfait entre le piston et les parois intérieures de la seringue.

L'appareil est terminé par une tige capillaire en verre, c, appelée *canule*, soudée à son extrémité inférieure et communiquant avec l'intérieur du cylindre.

L'espace compris entre l'extrémité inférieure du piston dans sa position la plus basse et la pointe p de la canule est *l'espace mort*. Il a pour volume $v_1$. Si la seringue est remplie de liquide, tournée de manière à diriger la canule vers le haut, puis vidée doucement, l'espace mort reste rempli d'un volume $v_1$ de liquide.

$b_1$ est une *première butée* fixée sur l'une des deux tiges métalliques t, t'. Cette butée arrête le piston lorsque l'extrémité supérieure de ce piston se trouve placée suivant la fig. 4, *b*. Le piston peut être dégagé de cette butée et continuer sa course vers le haut, par une légère rotation qui amènerait P à la position de la fig. 4, *c*.

La position de la butée $b_1$ est réglée de manière que le volume intérieur V de l'appareil, non compris celui $v_1$ de l'espace mort, soit égal ou très voisin de 10 ml. Si la seringue est remplie de liquide jusqu'à ce que le piston soit arrêté par la butée $b_1$, le volume total du liquide qu'elle contient est $V + v_1$. Vidée doucement dans un récipient elle délivre un volume V de liquide, l'espace mort restant plein.

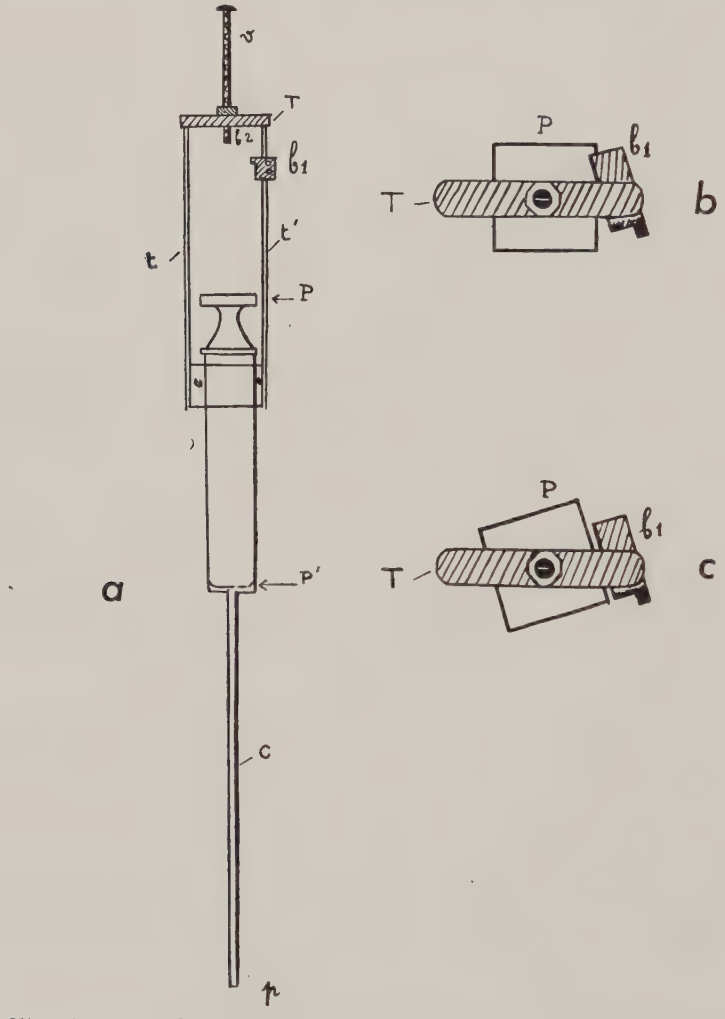



Fig. 4. — *a* : Seringue-pipette de Krogh ; *b* : Position du piston arrêté par la butée $b_1$ ; *c* : Position du piston le dégageant de la butée $b_1$.

Le volume V doit être connu à une précision au moins égale à 0,005 ml.

Le métal des tiges t et t' est choisi de manière que sa dilatation thermique compense dans une large gamme la température celle du corps de la seringue.

v est une vis micrométrique, réglable par rapport à la tige T. Son extrémité $b_2$ sert de deuxième butée pour limiter la course du piston vers le haut. Lorsque le piston se déplace de la première butée à la seconde, le volume additionnel de liquide aspiré dans la seringue est $v_2$.

Nous avons réglé la position de la vis micrométrique de manière à avoir :

$$v_2 = \frac{v_1}{2}$$

Les volumes $v_1$ et $v_2$ n'ont besoin d'être connus qu'à la précision de 0,1 ml.

La seringue-pipette dont nous nous sommes servi pour les dosages avait les caractéristiques suivantes :

| | | |
|---|---|---|
| volume de l'espace mort | $v_1$ = | 0,23 ml |
| volume du corps de la seringue | V = | 10,100 » |
| volume additionnel | $v_2$ = | 0,11 » |

## Principe du dosage

Deux réactifs, I (NaOH+KI) et II ($Mn Cl_2$), doivent être mélangés, non directement, mais au sein de l'eau à titrer et en l'absence de l'oxygène de l'air. Dès la sédimentation du précipité produit, on acidifie et on titre l'iode ainsi libéré à l'aide d'une solution titrée de thiosulfate de sodium en présence d'empois d'amidon.

*La réaction principale se fait à l'intérieur de la seringue, à l'abri de l'air.*

L'espace mort est d'abord rempli de réactif I (volume $v_1$). La pointe de la canule est alors trempée dans l'eau à titrer et la pipette remplie jusqu'à la première butée $b_1$. Volume d'eau prélevé : V. Le réactif I a servi de tampon protecteur, empêchant tout contact de l'eau prélevée avec l'air. En plus, ce réactif I est mélangé intimement à l'eau remplissant la seringue. La pointe de la canule est alors trempée dans le réactif II et le piston remonté jusqu'à la deuxième butée $b_2$. Volume de réactif prélevé : $v_2$.

Une légère agitation suffit à mélanger le réactif II au reste de liquide. Quelques minutes suffisent à la sédimentation du précipité.

La seringue est alors vidée dans un petit verre à réaction contenant 3 gouttes d'acide orthophosphorique, la pointe de la canule maintenue au-dessous de la surface de l'acide. De l'iode est libéré. Le contact de l'air n'a alors plus d'inconvénient.

L'iode est titrée à l'aide d'une solution *étalonnée* de thiosulfate de sodium en présence d'empois d'amidon.

### Réactifs

Réactifs I et II.

1° *Pour les analyses d'eau douce* (**8**) .

Réactif I (volume $v_1$) : 33 g NaOH
10 g KI
dissoudre dans de l'eau distillée et compléter à 100 ml ;
conserver dans un flacon brun muni d'un bouchon de *liège*.

Réactif II (volume $v_2$) : 40 g $MnCl_2$, $4H_2O$
à dissoudre dans de l'eau distillée et compléter à 100 ml.

Proportions des deux réactifs :

$$\frac{\text{Réactif I}}{\text{Réactif II}} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{2}{1}$$

Le mélange des deux réactifs dans les proportions ci-dessus contient, par litre, 3,4 ml d'oxygène dissous TPN (température et pression normales : 0° C et 760 mm de mercure).

2° *Pour les analyses d'eau de mer* (**4**) :

Diluer 4 fois le réactif I et 2 fois le réactif II et prendre $\frac{v_1}{v_2} = \frac{4}{1}$

Le mélange des deux réactifs avec les dilutions et dans les proportions ci-dessus contient, par litre 5,4 ml d'oxygène dissous TPN.

*Pour notre étude d'estuaire*, nous avons dilué deux fois les deux réactifs et pris :

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{2}{1}$$

Nous avons adopté la valeur 4,4 ml par litre pour la concentration en oxygène dissous TPN dans le mélange de ces réactifs. L'erreur qui résulte de l'incertitude sur cette valeur (inférieure ou égale à 1 ml par litre) dans les résultats des dosages, est faible et peut être négligée.

Solution de thiosulfate de sodium (à conserver dans un flacon brun).

$$\text{Titre} : \frac{N}{280}$$

0,886 g $S_2O_3Na_2$, $5H_2O$, à dissoudre dans de l'eau distillée et à compléter à 1 litre. Stabiliser en ajoutant 5 pastilles de NaOH.

1 *ml de cette solution équivaut à* 0,02 *ml d'oxygène TPN*.

Le dosage se faisant sur 10 ml d'eau, 1 ml de la solution correspond à 2 ml d'oxygène dissous par litre d'eau.

Le calcul de la teneur en oxygène dissous d'un échantillon d'eau se fait donc très simplement en multipliant par 2 le nombre de ml de la solution de thiosulfate lu sur la microburette.

*Cette solution doit être étalonnée préalablement à son emploi* à l'aide d'une solution étalon d'iodate de potassium N/28.

Solution étalon $IO_3K$ N/28

Peser 1,274 g $IO_3K$ RP ; dissoudre dans de l'eau distillée, compléter à 1 litre.

1 ml de cette solution équivaut à 10 ml de la solution de thiosulfate de sodium N/280.

Acide

Acide orthophosphorique $PO_4H_3$ RP concentré.

Empois d'amidon 1 %

Dissoudre 1 g d'amidon soluble dans 100 ml de solution saturée de chlorure de sodium. Chauffer jusqu'à obtenir une solution parfaitement limpide et transparente. Laisser refroidir et conserver dans un flacon compte-gouttes.

Solution d'iodure de potassium 1 %

Pour l'étalonnage de la solution de thiosulfate de sodium. Dissoudre 1 g de KI dans 100 ml d'eau distillée.

Etalonnage de la solution de thiosulfate de sodium

A l'aide d'une pipette étalon, prélever 1 ml de la solution $IO_3K$ N/28 que l'on fait couler dans un erlenmeyer de 50 ml. Ajouter successivement et dans l'ordre suivant :

20 gouttes de la solution KI 1 %,

4-5 ml d'eau distillée,

4-5 gouttes d'acide orthophosphorique.

De l'iode est libéré que l'on titre à l'aide de la solution de thiosulfate à étalonner, en présence de 3 gouttes d'empois d'amidon.

Pour la solution de thiosulfate, se servir d'une microburette de 10 ml graduée en 0,05 ml et faire les lectures à la précision de 0,01 ml.

Si le volume de la solution de thiosulfate nécessaire à la titration n'est pas exactement 10,00 ml, corriger les résultats des dosages en fonction du titre réel de la solution.

### Corrections

Un certain nombre de corrections sont nécessaires dans le calcul des résultats des dosages.

1° *Correction pour tenir compte du titre exact de la solution de thiosulfate lorsque ce titre n'est pas exactement N/280.* — Pour titrer 1 ml de la solution étalon $IO_3K$ N/28, il a fallu A ml de la solution de thiosulfate, A légèrement différent de 10. Tous les résultats des dosages devront être multipliés par $\frac{10}{A}$.

S'il a fallu n ml de la solution de thiosulfate pour la titration d'un échantillon d'eau, la teneur en oxygène dissous de cet échantillon sera :

$$2n \frac{10}{A} \text{ ml TPN par litre.}$$

Généralement A — 10 est très petit. En posant $A - 10 = \varepsilon_1$, on a :

$$2n \frac{10}{A} = 2n \left(1 - \frac{\varepsilon_1}{10}\right)$$

$\varepsilon_1$ étant pris avec son signe.

2° *Correction inhérente à la méthode.* — La méthode donne, pour une eau saturée en oxygène, des résultats trop faibles de 1 % par rapport à ceux indiqués dans les tables de Fox (**3**).

Il faut donc, pour rester en accord avec ces tables, *majorer les résultats de 1 %.*

3° *Correction de volume.* — Si le volume V de la seringue n'est pas exactement 10,00 ml, on a $V = 10 + \varepsilon_2$

Les résultats doivent être multipliés par :

$$1 - \frac{\varepsilon_2}{10}$$

Nous nous sommes arrangé, en prenant V = 10,10 ml ($\varepsilon_2 = 0{,}10$ ml) pour que cette correction soit égale et de signe contraire à celle inhérente à la méthode, ce qui nous permet d'éliminer ces deux corrections dans nos calculs.

4° *Correction pour tenir compte de l'oxygène dissous dans les réactifs I et II.* — Le volume total des deux réactifs utilisés dans notre seringue est :

$$v_1 + v_2 = 0{,}3 \text{ ml}$$

Cette quantité contient $0{,}3 \times \frac{4{,}4}{1000} = 0{,}0013$ ml d'oxygène.

La titration portant sur 10 ml d'eau, les résultats exprimés en ml d'oxygène dissous par litre d'eau se trouvent ainsi majorés de 0,13 ml. Cette erreur constante est à soustraire des résultats de toutes les titrations.

5° *Correction de sensibilité de l'empois d'amidon.* — Nous avons négligé cette petite correction.

Finalement, avec une solution de thiosulfate N/280, s'il a fallu n ml de cette solution pour le dosage d'un échantillon d'eau, la teneur en oxygène dissous de cet échantillon est

$$2n - 0{,}13 \text{ ml } O_2 \text{ TPN par litre.}$$

Si la solution de thiosulfate n'est pas exactement N/280 ($A - 10 = \varepsilon_1$), cette teneur est égale à :

$$2n \left(1 - \frac{\varepsilon_1}{10}\right) - 0{,}13 \text{ ml } O_2 \text{ TPN par litre}$$

### Expression en % de saturation

La solubilité de l'oxygène dissous dans l'eau au niveau de la mer est à la fois fonction de la température et de la salinité de cette eau.

La comparaison entre les valeurs de la concentration en oxygène dissous de deux échantillons d'eau ayant des températures et salinités différentes est peu significative.

Cette comparaison devient possible si l'on rapporte ces concentrations à la valeur de la saturation de chaque échantillon d'eau pour les température et salinité de cet échantillon.

Le pourcentage de saturation d'un échantillon d'eau ayant une température et une salinité données est :

$$O_2\ \% = \frac{O_2 \text{ ml} \times 100}{s}$$

s étant la valeur de la saturation de l'échantillon pour ces température et salinité (**2,3**).

Nos tableaux de valeurs numériques mentionnent pour chaque échantillon les valeurs de la teneur en oxygène dissous exprimées en ml ($O_2$ ml) et en % ($O_2$ %) de saturation. Seules les valeurs de pourcentage ($O_2$ %) figurent sur nos graphiques.

### Détermination de la salinité

Nous nous sommes contenté de la précision de la première décimale dans la connaissance de la salinité S ‰.

La *chlorinité* est d'abord titrée volumétriquement comme suit :

10 ml de l'échantillon d'eau sont prélevés à l'aide d'une pipette ordinaire à 2 traits et versés dans un bécher de 50 ml. Quelques ml d'eau distillée sont ajoutés, ainsi que 5 gouttes d'une solution de chromate de potassium 8 %.

Une solution de nitrate d'argent, contenant 47,91 g de $NO_2Ag$ par litre est alors versée, à l'aide d'une burette de 25 ml graduée en 0,1 ml, jusqu'au virage. Il est plus aisé de préparer cette solution en dissolvant 240,7 g de sel d'argent très pur dans 5 litres d'eau distillée. Son titre est choisi de façon que le nombre de ml de cette solution nécessaire à une titration corresponde approximativement à la *chlorosité* de l'échantillon (masse en g d'ions $Cl^-$ contenus, à 20° C, dans un litre de l'échantillon, les ions $Br^-$ et $I^-$ étant assimilés à des ions Cl-).

Pendant toute la durée de la titration, le liquide contenu dans le bécher est agité à l'aide d'un agitateur magnétique.

On note, par lecture sur la burette, le volume $a$ de solution de nitrate d'argent utilisé pour la titration.

La solution de nitrate d'argent est elle-même étalonnée à l'aide d'une solution étalon de chlorure de sodium contenant 10 g de chlore par litre.

Cette dernière solution s'obtient en dissolvant 16,479 g de NaCl très pur, anhydre, dans de l'eau distillée et en portant le volume à 1 litre.

N.B. — Si l'on veut obtenir une solution contenant exactement 10,000 g de Cl par litre à la température $\theta$ du laboratoire, il faudrait peser (dans l'air, avec masses en laiton), 16,4788 g de NaCl, très pur, anhydre, dissoudre cette quantité dans de l'eau distillée et porter le volume à 1 litre.

Le titre exact de cette solution étalon peut être contrôlé à l'aide de l'eau normale.

En fait, la précision cherchée dans nos titrations ne nécessite pas autant de précautions dans la préparation de la solution étalon.

Pour étalonner la solution de nitrate d'argent, on titre à l'aide de cette solution 10 ml de la solution étalon NaCl en opérant de la même manière que pour les titrations des échantillons d'eau de mer.

Si $A$ est le volume de la solution de nitrate d'argent utilisé pour cette titration d'étalonnage, et $a$ celui utilisé pour la titration d'un échantillon d'eau de mer, la chlorosité de cet échantillon, bien que les

titrations aient été faites à une température différente de 20° C, est, sans erreur sensible :

$$Cl_v = 10 \frac{a}{A}$$

Le tableau I, calculé d'après la formule de THOMPSON (**9**), permet de passer de la chlorosité $Cl_v$ à la chlorinité Cl ‰ et le tableau II, obtenu à partir des Tables Hydrographiques de KNUDSEN (**6**), à la salinité S ‰.

DENSITÉ

Soit $d_\theta^4$ la densité d'un échantillon d'eau à $\theta$° C par rapport à l'eau distillée à 4° C. Il est plus commode de représenter cette densité par la grandeur $\sigma_t$ définie par :

$$\sigma_t = (d_\theta^4 - 1) 1.000$$

Aux températures courantes, $\sigma_t$ est négatif pour l'eau douce et positif pour l'eau de mer.

$\sigma_t$ est obtenu, en fonction de la salinité S ‰ et de la température $\theta$ (° C) à l'aide du tableau III, lui-même établi à partir des Tables Hydrographiques de KNUDSEN.

PROPORTION D'EAUX DOUCE ET DE MER CONTENUES DANS UN ÉCHANTILLON

L'eau en un point de l'estuaire étant considérée comme un mélange d'eau douce apportée par la rivière de Fascène et d'eau de mer du large, la proportion entre ces deux eaux peut être calculée à partir de la salinité de l'échantillon en prenant la valeur 35 ‰ pour la salinité de l'eau de mer et 0 ‰ pour celle de l'eau douce. 100 g d'un échantillon d'eau d'estuaire de salinité S ‰ contiendront X g d'eau de mer et (100 — X) g d'eau douce, le pourcentage X étant donné par la formule :

$$X \text{ ‰} = \frac{100\ S}{35} = 2{,}86\ S$$

X peut également représenter le pourcentage en ml avec une approximation suffisante.

TABLEAU I

Corrections permettant de passer de la chlorosité $Cl_v$ à la chlorinité Cl ‰.

$$Cl\ ‰ = Cl_v - \Delta$$

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $Cl_v$ de | 0 | à | 6 | : $\Delta$ | = | 0,0 |
| » | 7 | » | 11 | : » | = | 0,1 |
| » | 12 | » | 14 | : » | = | 0,2 |
| » | 15 | » | 16 | : » | = | 0,3 |
| » | 17 | » | 19 | : » | = | 0,4 |
| » | 20 | » | 21 | : » | = | 0,5 |
| » | 22 | » | 23 | : » | = | 0,6 |

TAB

Valeur de la salinité S ‰ de l'eau

| Cl | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 1,8 | 3,6 | 5,5 | 7,3 | 9,1 | 10,9 | 12,7 | 14,5 | 16 |
| 1 | 0,2 | 2,0 | 3,8 | 5,6 | 7.4 | 9,2 | 11,0 | 12,9 | 14,7 | 16 |
| 2 | 0,4 | 2,2 | 4,0 | 5,8 | 7,6 | 9,4 | 11,2 | 13,0 | 14,8 | 16 |
| 3 | 0,6 | 2,4 | 4,2 | 6,0 | 7,8 | 9,6 | 11,4 | 13,2 | 15,0 | 16 |
| 4 | 0,8 | 2,6 | 4,4 | 6,2 | 8,0 | 9,8 | 11,6 | 13,4 | 15,2 | 17 |
| 5 | 0,9 | 2,7 | 4,5 | 6,4 | 8,2 | 10,0 | 11,8 | 13,6 | 15,4 | 17 |
| 6 | 1,1 | 2,9 | 4,7 | 6,5 | 8,3 | 10,1 | 11,9 | 13,8 | 15,6 | 17 |
| 7 | 1,3 | 3,1 | 4,9 | 6,7 | 8,5 | 10,3 | 12,1 | 13,9 | 15,7 | 17 |
| 8 | 1,5 | 3,3 | 5,1 | 6,9 | 8,7 | 10,5 | 12,3 | 14,1 | 15,9 | 17 |
| 9 | 1,7 | 3,5 | 5,3 | 7,1 | 8,9 | 10,7 | 12,5 | 14,3 | 16,1 | 17 |

TAB

$\sigma_t$ en fonction de la salinité

| S/θ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | -1,8 | 1,0 | 0,2 | 0,6 | 1,3 | 2,1 | 2,8 | 3,6 | 4,3 | 5,1 | 5,9 | 6,6 | 7,4 | 8,1 | 8,9 | 9,6 |
| 21 | -2,0 | 1,2 | -0,4 | 0,3 | 1,1 | 1,9 | 2,6 | 3,4 | 4,1 | 5,0 | 5,6 | 6,4 | 7,1 | 7,9 | 8,7 | 9,4 |
| 22 | —2,2 | —1,4 | —0,7 | 0,1 | 0,9 | 1,6 | 2,4 | 3,1 | 3,9 | 4,7 | 5,4 | 6,1 | 6,9 | 7,7 | 8,4 | 9,2 |
| 23 | -2,4 | —1,6 | —0,9 | —0,1 | 0,6 | 1,4 | 2,1 | 2,9 | 3,6 | 4,5 | 5,1 | 5,9 | 6,7 | 7,4 | 8,2 | 8,9 |
| 24 | -2,7 | -1,9 | 1,1 | -0,4 | 0,4 | 1,1 | 1,9 | 2,6 | 3,4 | 4,2 | 4,9 | 5,6 | 6,4 | 7,1 | 7,9 | 8,6 |
| 25 | 2,9 | —2,1 | 1,4 | 0,6 | 0,1 | 0,9 | 1,6 | 2,4 | 3,1 | 3,9 | 4,6 | 5,4 | 6,1 | 6,9 | 7,6 | 8,4 |
| 26 | —3,2 | —2,4 | —1,7 | —0,9 | -0,2 | 0,6 | 1,4 | 2,1 | 2,9 | 3,7 | 4,3 | 5,1 | 5,8 | 6,6 | 7,3 | 8,1 |
| 27 | -3,5 | -2,7 | -1,9 | 1,2 | 0,4 | 0,3 | 1,1 | 1,8 | 2,6 | 3,4 | 4,1 | 4,8 | 5,6 | 6,3 | 7,0 | 7,8 |
| 28 | 3,7 | —3,0 | -2,2 | 1,5 | —0,7 | 0,0 | 0,8 | 1,5 | 2,3 | 3,1 | 3,8 | 4,5 | 5,3 | 6,0 | 6,7 | 7,5 |
| 29 | —4,0 | -3,3 | -2,5 | 1,8 | 1,0 | -0,3 | 0,5 | 1,2 | 2,0 | 2,8 | 3,5 | 4,2 | 5,0 | 5,7 | 6,4 | 7,2 |
| 30 | -4,3 | —3,5 | —2,8 | —2,1 | —1,3 | —0,6 | 0,2 | 0,9 | 1,7 | 2,5 | 3,2 | 3,9 | 4,6 | 5,4 | 6,1 | 6,9 |

II

er en fonction de la chlorinité Cl ‰

| 0 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ,1 | 19,9 | 21,7 | 23,5 | 25,3 | 27,1 | 28,9 | 30,7 | 32,5 | 34,3 | 36,1 |
| ,3 | 20,1 | 21,9 | 23,7 | 25,5 | 27,3 | 29,1 | 30,9 | 32,7 | 34,5 | 36,3 |
| ,4 | 20,3 | 22,1 | 23,9 | 25,7 | 27,5 | 29,3 | 31,1 | 32,9 | 34,7 | 36,5 |
| ,6 | 20,4 | 22,2 | 24,0 | 25,8 | 27,7 | 29,5 | 31,3 | 33,1 | 34,9 | 36,7 |
| ,8 | 20,6 | 22,4 | 24,2 | 26,0 | 27,8 | 29,6 | 31,4 | 33,2 | 35,1 | 36,9 |
| ,0 | 20,8 | 22,6 | 24,4 | 26,2 | 28,0 | 29,8 | 31,6 | 33,4 | 35,2 | 37,0 |
| ,2 | 21,0 | 22,8 | 24,6 | 26,4 | 28,2 | 30,0 | 31,8 | 33,6 | 35,4 | 37,2 |
| ,3 | 21,2 | 23,0 | 24,8 | 26,6 | 28,4 | 30,2 | 32,0 | 33,8 | 35,6 | 37,4 |
| ,5 | 21,3 | 23,1 | 24,9 | 26,7 | 28,6 | 30,4 | 32,2 | 34,0 | 35,8 | 37,6 |
| ,7 | 21,5 | 23,3 | 25,1 | 26,9 | 28,7 | 30,5 | 32,3 | 34,1 | 36,0 | 37,8 |

III

‰ et de la température $\theta$ (°C)

| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ,1 | 11,9 | 12,7 | 13,4 | 14,2 | 14,9 | 15,7 | 16,4 | 17,2 | 18,0 | 18,7 | 19,5 | 20,2 | 21,0 | 21,8 | 22,5 | 23,3 | 24,0 | 24,8 |
| ,9 | 11,7 | 12,4 | 13,2 | 13,9 | 14,7 | 15,4 | 16,2 | 16,9 | 17,7 | 18,5 | 19,2 | 20,0 | 20,7 | 21,5 | 22,2 | 23,0 | 23,8 | 24,5 |
| ,7 | 11,4 | 12,2 | 12,9 | 13,7 | 14,4 | 15,2 | 15,9 | 16,7 | 17,4 | 18,2 | 18,9 | 19,7 | 20,5 | 21,2 | 22,0 | 22,7 | 23,5 | 24,2 |
| ,4 | 11,2 | 11,9 | 12,7 | 13,4 | 14,2 | 14,9 | 15,7 | 16,4 | 17,2 | 17,9 | 18,7 | 19,4 | 20,2 | 20,9 | 21,7 | 22,5 | 23,2 | 24,0 |
| ,1 | 10,9 | 11,6 | 12,4 | 13,1 | 13,9 | 14,6 | 15,4 | 16,1 | 16,9 | 17,6 | 18,4 | 19,1 | 19,9 | 20,7 | 21,4 | 22,2 | 22,9 | 23,7 |
| ,9 | 10,6 | 11,4 | 12,1 | 12,9 | 13,6 | 14,4 | 15,1 | 15,8 | 16,6 | 17,4 | 18,1 | 18,9 | 19,6 | 20,4 | 21,1 | 21,9 | 22,6 | 23,4 |
| ,6 | 10,3 | 11,1 | 11,8 | 12,6 | 13,3 | 14,1 | 14,8 | 15,6 | 16,3 | 17,1 | 17,8 | 18,6 | 19,3 | 20,1 | 20,8 | 21,6 | 22,3 | 23,1 |
| ,3 | 10,0 | 10,8 | 11,5 | 12,3 | 13,0 | 13,8 | 14,5 | 15,2 | 16,0 | 16,7 | 17,5 | 18,2 | 19,0 | 19,7 | 20,5 | 21,2 | 22,0 | 22,8 |
| ,0 | 9,7 | 10,5 | 11,2 | 12,0 | 12,7 | 13,4 | 14,2 | 14,9 | 15,7 | 16,4 | 17,2 | 17,9 | 18,7 | 19,4 | 20,2 | 20,9 | 21,7 | 22,4 |
| ,7 | 9,4 | 10,1 | 10,9 | 11,6 | 12,4 | 13,1 | 13,9 | 14,6 | 15,4 | 16,1 | 16,9 | 17,6 | 18,3 | 19,1 | 19,8 | 20,6 | 21,3 | 22,1 |
| ,3 | 9,1 | 9,8 | 10,6 | 11,3 | 12,1 | 12,8 | 13,5 | 14,3 | 15,0 | 15,8 | 16,5 | 17,3 | 18,0 | 18,8 | 19,5 | 20,3 | 21,0 | 21,8 |

## ETUDE DE LA MAREE

### Marée dynamique et marée haline

L'expérience nous porte à distinguer entre la marée dynamique, caractérisée par la variation du niveau de l'eau, et la marée haline caractérisée par le mouvement dans l'estuaire de la masse d'eau de mer venant du large.

La pénétration de l'eau de mer se faisant par le fond, si ces deux marées étaient synchrones, on observerait en un point donné de l'estuaire, au voisinage du fond, un maximum de salinité à l'instant de la pleine-mer. Il n'en a pas été ainsi dans notre étude. La marée haline ne semble pas avoir partout la même phase, ni souvent, la même périodicité que la marée dynamique.

### Marée dynamique

Les perches sur lesquelles se font les lectures du niveau de l'eau ont été graduées avant d'être plantées dans le sol aux différentes stations d'observation. Une fois en place, l'origine de ces graduations était arbitraire et il a fallu déterminer expérimentalement la cote exacte de cette origine par rapport au zéro des cartes marines pris pour niveau de référence.

Les figures 5 et 6 représentent les courbes expérimentales de la marée dynamique aux stations I à V en morte-eau (3 juin) et I à VI en vive-eau (10 juin). Seules les courbes se rapportant à la station I (entrée de la baie) et qui devront servir de courbes de référence pour l'étude de la marée aux stations plus en amont sont rapportées au niveau de référence. L'origine des hauteurs est arbitraire pour les autres courbes.

---

Fig. 5. — Marée de morte-eau observée le 3 juin dans l'estuaire de Fascène aux Stations I à V. Les hauteurs sont rapportées au zéro des cartes marines pour la seule courbe I (entrée de la baie). L'origine des hauteurs est arbitraire pour les autres courbes. Beau temps : peu nuageux le matin, nuageux l'après-midi ; vent faible.
*Marée à Hell-Ville :* PM : 11 h 12 3,0 m } Amplitude : 1,4 m
BM : 17 h 35 1,6 m }

Fig. 6. — Marée de vive-eau observée le 10 juin dans l'estuaire de Fascène aux Stations I à VI. Les hauteurs sont rapportées au zéro des cartes marines pour la seule courbe I (entrée de la baie). L'origine des hauteurs est arbitraire pour les autres courbes. Beau temps, très peu nuageux, vent très faible.
*Marée à Hell-Ville :* BM : 11 h 30 0,5 m } Amplitude : 3,7 m
PM : 17 h 18 4,2 m }
En bas et à droite, marée de vive-eau observée le 9 juin à la Station VI (PM à Hell-Ville : 16 h 30 4,2 m).

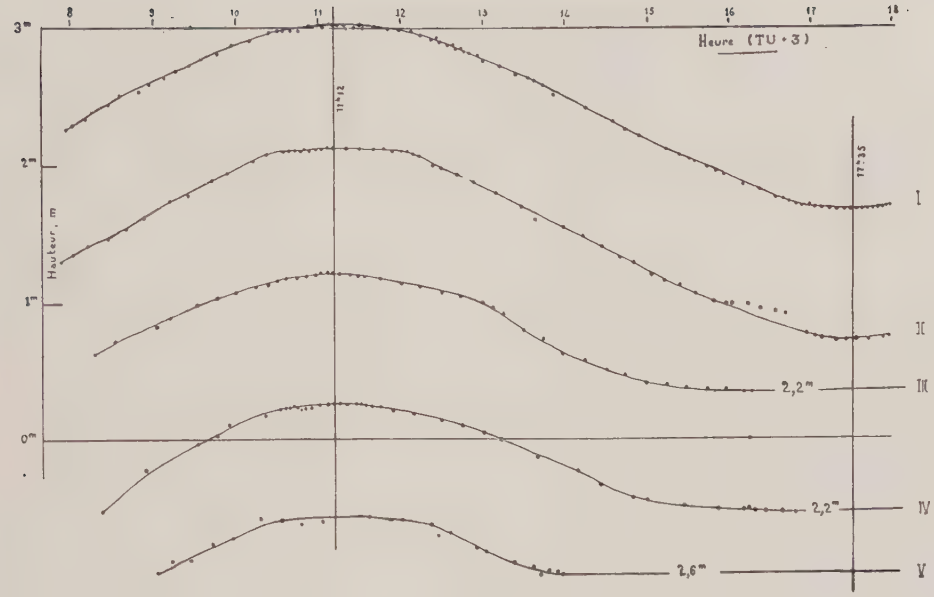

Heure (TU+3)
Hauteur, m
11h12
17h35
I
II
III
2,2m
IV
2,2m
V
2,6m

Fig. 5

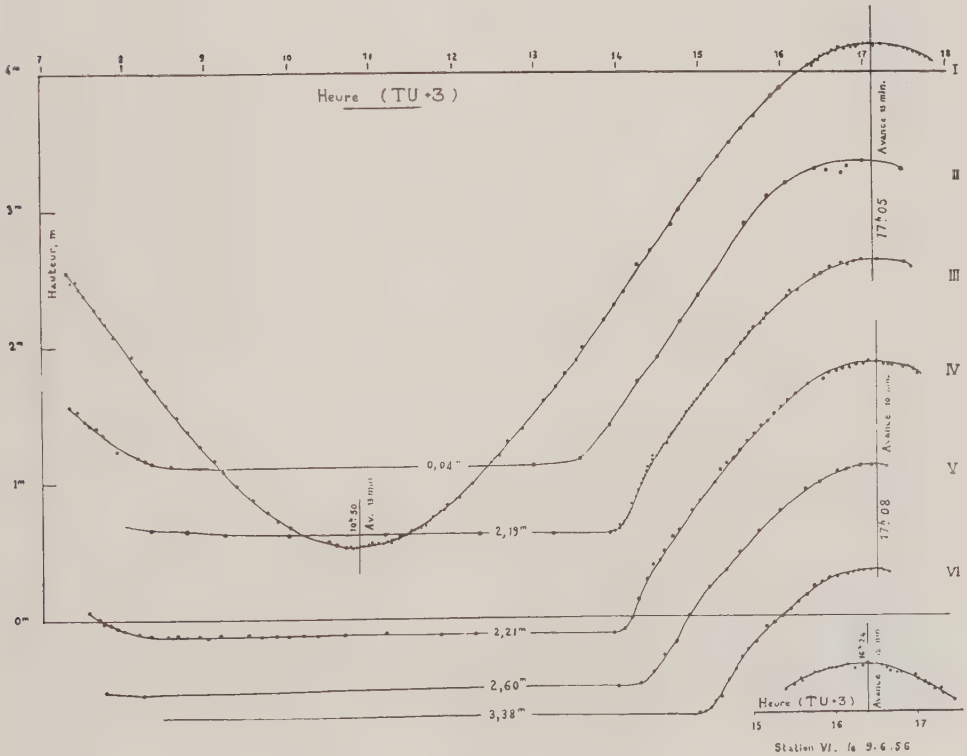

Heure (TU+3)
Hauteur, m
Avance 13 min.
17h05
I
II
III
IV
V
VI
0,04m
10h50
Av. 13 min.
2,19m
17h08
2,21m
2,60m
3,38m
Heure (TU+3)
15
16
17
Station VI. le 9.6.56

Fig. 6.

### Marée a l'entrée de la baie de Fascène (station I)

En morte-eau, les instants de pleine-mer et de basse-mer sont les mêmes à la station I qu'à Hell-Ville. L'amplitude, ou différence de hauteur à pleine et basse-mer, est de 1,34 m à la station I, alors que l'Annuaire indique 1,4 m à Hell-Ville. La petite différence, 0,06 m, est dans la limite de précision des indications de l'Annuaire (précision du décimètre).

*Nous pouvons donc conclure à l'identité des marées de morte-eau à Hell-Ville et à l'entrée de la baie de Fascène.*

*En vive-eau*, par contre, *la marée à la station* I *est en avance de 13 minutes sur celle d'Hell-Ville.* L'amplitude demeure identique à Fascène et à Hell-Ville (3,68 m à Fascène, 3,7 m à Hell-Ville)

L'origine des hauteurs sur les deux courbes de la marée à la station I ne peut être définie qu'au décimètre près, par comparaison avec la marée d'Hell-Ville.

Nous avons toutefois adopté pour cette origine une valeur exprimée en centimètre, choisie de manière à rendre minima la différence entre les valeurs calculées de la cote du fond en ce point en morte-eau. et en vive-eau.

Voici donc les caractéristiques adoptées pour la marée à l'entrée de la baie de Fascène (St. I) comparées à celles indiquées pour Hell-Ville par l'Annuaire :

Marée de morte-eau

| | PM | BM | Amplitude |
|---|---|---|---|
| A Hell-Ville ..... | 11 h 12 — 3,0 m | 17 h 35 — 1,6 m | 1,4 m |
| A l'entrée de la baie de Fascène ..... | 11 h 12 — 3,03 m | 17 h 35 — 1,69 m | 1,34 m |

Marée de vive-eau

| | BM | PM | Amplitude |
|---|---|---|---|
| A Hell-Ville ..... | 11 h 03 — 0,5 m | 17 h 18 — 4,2 m | 3,7 m |
| A l'entrée de la baie de Fascène ..... | 10 h 50 — 0,51 m | 17 h 05 — 4,19 m | 3,68 m |

### Propagation le long de l'estuaire

En morte-eau, les pleine et basse-mer se produisent aux mêmes instants aux stations I à V. La propagation est donc pratiquement instantanée à partir de l'entrée de la baie jusqu'à la station V, se trouvant à 700 m de l'embouchure.

La station VI ne pouvait être atteinte par l'onde de marée de morte-eau et l'observateur a dû se transporter à 80 m plus en aval (environ à 1.020 de l'embouchure) pour déceler, aux environs de la pleine-mer, une élévation du niveau de l'eau de 3 cm (33 mm). Les observations en ce point ont été faites d'une façon particulièrement soignée, en l'absence de vent, et les hauteurs observées en millimètre sur une règle graduée.

Ces observations (fig. 7) font état d'un maximum absolu, 33 mm, à 11 h 17. Si la pleine-mer se situait à cet instant, la marée à cette station aurait un retard de 5 minutes sur les stations plus en aval. Mais nous ne pensons pas qu'il convienne, dans le tracé d'une courbe de marée, de tenir compte de si petites dénivellations. De telles variations de quelques millimètres sont généralement accidentelles : un obstacle passager à l'amont ou à l'aval, un coup de vent, suffiraient à les provoquer. Par ailleurs, nous avons fréquemment observé des oscillations de faible amplitude du niveau de l'eau, en pleine-mer et à basse-mer, tant à Fascène qu'au Moros, à Concarneau (10) et nous pensons qu'il s'agit là du balancement du plan d'eau autour de sa position d'équilibre, provoqué par le fait qu'aux instants de pleine- et basse-mer, la composante horizontale de la force génératrice de la marée s'annule pour changer de sens.

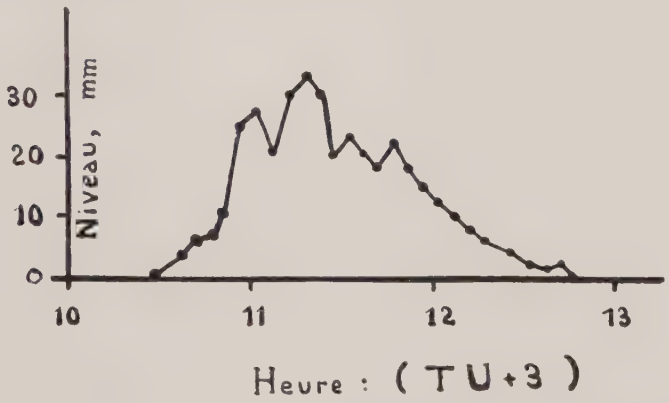



Fig. 7. — Marée de morte-eau observée le 3 juin à 80 m en aval de la Station VI.

La seule conclusion que nous pensons être autorisé à tirer des observations à cette dernière station est que pour la marée de morte-eau observée, d'amplitude 1,34 m, la limite de pénétration de l'onde de marée se situe à 80 m en aval de la station VI, à une distance de 1.020 m environ de l'embouchure.

Les résultats se rapportant à cette dernière station mis à part, nous pouvons conclure qu'en morte-eau, *la propagation de la marée le long de l'estuaire est pratiquement instantanée.*

Les courbes de marée se rapportant aux stations I à IV, sont superposables dans leur partie non rectiligne. La superposition est moins satisfaisante pour la courbe se rapportant à la station V.

Nous pouvons donc conclure que *l'onde de marée ne se trouve légèrement déformée qu'au-delà de la station IV* (*plus en amont*), *distante de l'embouchure de* 320 m.

En vive-eau, par contre, si la superposition demeure satisfaisante pour toutes les courbes (station I à VI), on note, par rapport à la station I (entrée de la baie) un retard de 3 minutes à partir de la station IV, ce retard demeurant pratiquement constant pour les stations V et VI (avance de 10 minutes sur la marée d'Hell-Ville).

Sur la figure 6, nous avons également tracé la courbe représentative de la marée à la station VI, observée la veille, 9 juin, même amplitude que le 10. L'onde de marée y est en avance de 12 minutes sur celle d'Hell-Ville.

Des observations faites le 10 juin, nous pouvons donc conclure *qu'en vive-eau, l'onde de marée* :

1° *parcourt tout l'estuaire sans se déformer ;*

2° *subit un léger retard, environ* 3 *minutes, en amont de l'embouchure.*

### Marée haline

Les observations hydrologiques simultanées auxquelles nous avons procédé ont porté sur un intervalle de temps trop faible pour permettre de tirer des conclusions précises sur le mode de propagation de l'onde haline et, notamment, sur son déphasage par rapport à l'onde dynamique. Des observations de plus longue durée (tout au moins durant un cycle complet de la marée), faites à intervalles de temps plus serrés, seraient nécessaires.

Nous nous bornons donc à mentionner les résultats de nos observations sans en tirer des conclusions.

En outre, nous ne rendons compte que des résultats des observations faites en morte-eau. En vive-eau, en effet, et sauf à la station I, nous n'avons pu observer la marée que quelques heures seulement avant la pleine-mer du soir : 4 heures pour la station II, 2 heures 30 pour la station VI. Tout le reste du temps, la marée évacue presque complètement l'estuaire, laissant dans les parties creuses du chenal, de l'eau de mer stagnante. Aux différentes stations, le niveau est alors

constant, ainsi que la salinité de l'eau du fond et il n'était guère possible de déterminer un minimum de la salinité de l'eau du fond pouvant être rapporté à la basse-mer.

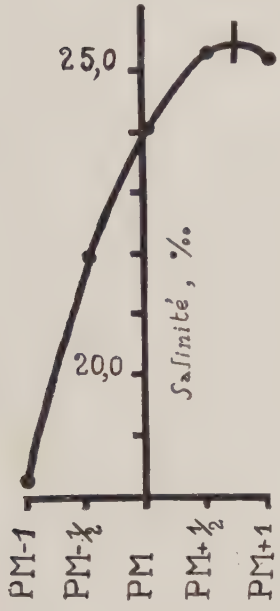



Fig. 8. — Variation de la salinité de l'eau du fond à la Sation VI, en pleine-mer de morte-eau, le 9 juin.

Par ailleurs, la pleine-mer se situant à la tombée de la nuit, il n'a pas été possible de prolonger les observations au-delà de cette limite de temps, et nous ne pouvons reconnaître les maxima de salinité qui, à certaine stations, ont pu se produire après la pleine-mer.

Nous pouvons toutefois mentionner les résultats d'une brève série d'observations de la salinité de l'eau du fond à la station VI, le 9 juin, en pleine-mer de vive-eau. Cinq échantillons d'eau du fond ont été prélevés toutes les demi-heures, le premier une heure avant la pleine-mer, le dernier une heure après la pleine-mer. Les résultats sont mentionnés au tableau V. La fig. 8, qui représente la variation de la salinité de l'eau du fond, situe la pleine mer haline en retard de 3/4 d'heure sur la pleine-mer dynamique.

La fig. 9 représente les variations de la salinité de l'eau du fond, en morte-eau, aux différentes Stations d'observation (3 juin).

Sur les fig. 8 et 9, les différentes heures de la marée sont représentées comme suit.

| PM. | BM. | Instant de la pleine-mer, de la basse-mer. |
|---|---|---|
| PM + 1. | BM + 1. | 1 heure après la pleine-mer ou la basse-mer. |
| PM + 2. | BM + 2. | 2 heures » » » » » |
| PM — 1. | BM — 1. | 1 heure avant » » » » |
| PM — 2. | BM — 2. | 2 heures » » » » » |
| m m ↑ | | mi-marée montante |
| m m ↓ | | mi-marée descendante. |

L'examen de la fig. 9 permet de faire les remarques suivantes :

*Station* I : très faibles variations ; faible maximum à BM + 1.

*Stations* II *et* III : maximum à PM + 1, minimum accusé à BM — 2.

*Station* IV : 2 maxima à PM et PM + 2, séparés par un minimum à PM + 1. Nous pensons qu'à PM + 1 l'échantillon d'eau n'a pas été prélevé au fond de la fosse, au point où ont été faits les autres prélèvements, ce qui expliquerait ce minimum aberrant. Si nous n'en tenons pas compte dans le tracé de la courbe, le maximum se placerait à PM + 1.

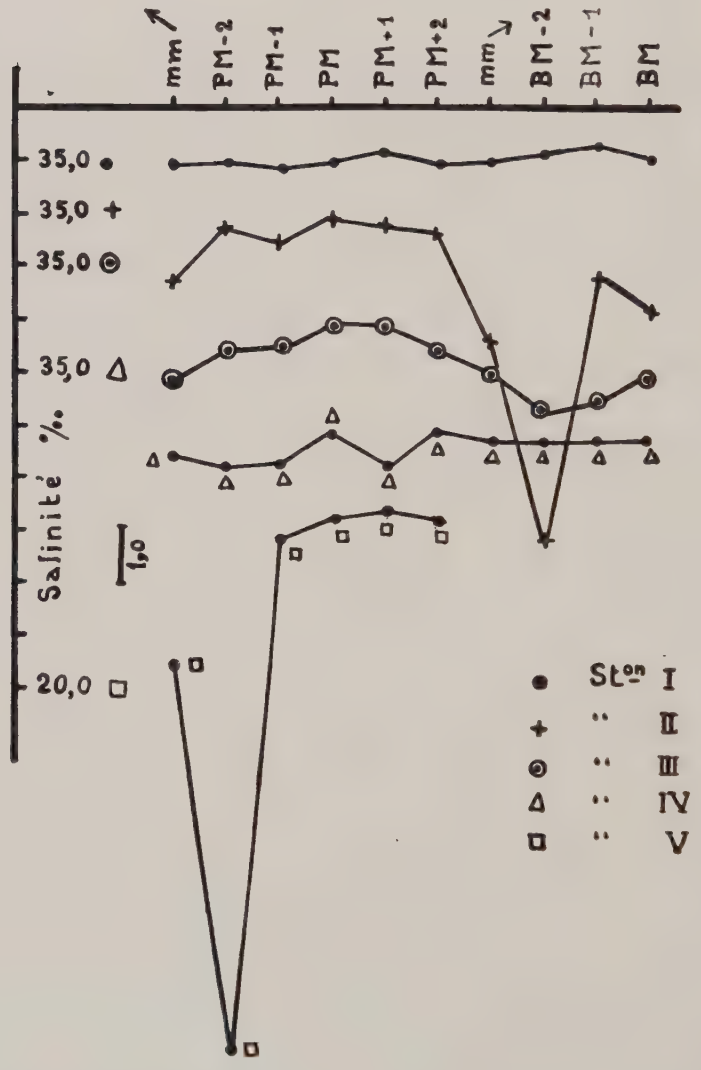



Fig. 9. — Variation de la salinité de l'eau du fond aux Stations I à V, en marée de morte-eau, le 3 juin.

*Station* V : minimum très accusé à PM — 1 ; maximum à PM + 2.

*Station* VI : marée purement dynamique ; aucune trace d'eau de mer durant la journée.

D'après ces remarques :

1° la pleine mer haline se produirait avec un important retard sur la pleine mer dynamique : retard d'environ 1 heure jusqu'à la station IV, d'environ 2 heures plus en amont.

2° la basse mer haline se produirait, au contraire, avec une avance de 2 heures environ sur la basse mer dynamique, tout au moins jusqu'à la station III. La basse mer n'a pu être observée aux stations plus en amont.

Il semble donc que, durant le flux, la masse d'eau de mer venant du large se trouve freinée dans sa progression à travers l'estuaire par la résistance que lui oppose l'eau douce coulant en sens contraire. Elle ne pourrait donc atteindre un point donné de l'estuaire qu'après avoir vaincu cette résistance, donc avec un certain retard. Par contre, la poussée provoquée par cette eau de mer dans sa progression, se transmettrait très rapidement vers l'amont et provoquerait dans les masses d'eau douce en amont les variations de niveau pratiquement en concordance de phase avec la marée au large.

Au jusant, c'est le phénomène contraire qui se produirait. La pression de l'eau douce tendrait à favoriser le retrait de l'eau de mer. Ce retrait commencerait en avance sur la basse mer au moment où la poussée de l'eau de mer devient insuffisante à vaincre la résistance qui lui est opposée.

Nous ne faisons ici, nous le répétons, que des hypothèses déduites d'observations insuffisantes et qui devraient être mieux confrontées avec l'expérience.

### Cote du fond aux stations d'observation

Les observations de la marée nous ont permis de déterminer avec une approximation satisfaisante la cote du fond aux différentes stations d'observation.

Les cotes et hauteurs dont il va être question sont rapportées au niveau des plus basses mers à Hell-Ville, pratiquement identiques au niveau des plus basses mers à l'entrée de la baie de Fascène.

### Stations I et II

Ces deux stations se trouvant respectivement à l'entrée de la baie et dans la baie, communiquant parfaitement avec le large, nous avons fait l'hypothèse qu'en pleine mer la dénivellation créée par l'apport de l'eau douce de l'estuaire y était négligeable. La cote du plan d'eau

à l'instant de pleine mer y est donc déterminée avec une précision satisfaisante par rapport au niveau de référence. La mesure de la profondeur à cet instant permet d'obtenir la cote du fond au point considéré.

Voici les valeurs obtenues pour ces deux stations :

| | P.M. de morte-eau | P.M. de vive-eau |
|---|---|---|
| | — | — |
| Station I | | |
| Cote du plan d'eau | 3,0 m | 4,2 m |
| Profondeur | 2,3 » | 3,5 » |
| Cote du sol | 0,7 » | 0,7 » |
| Station II | | |
| Cote du plan d'eau | 3,0 m | 4,2 m |
| Profondeur | 1,4 » | 2,6 » |
| Cote du sol | 1,6 » | 1,6 » |

### Stations III a VI

A partir de l'embouchure, l'hypothèse précédente n'est plus valable.

Aux stations III à VI, on observe un niveau constant aux environs de la basse mer durant un intervalle de temps variant d'une station à l'autre et avec l'amplitude de la marée .

Pour ces stations, nous avons fait l'hypothèse suivante : en un point de l'estuaire, le niveau devient constant entre les deux instants, d'abord en marée descendante, puis en marée montante, où la hauteur de la marée devient égale à celle du plan d'eau en ce point.

La détermination précise des deux instants entre lesquels le niveau devient constant à une station permet d'obtenir, en se reportant à la courbe de référence (courbe de la marée à l'entrée de la baie), la cote du plan d'eau à cette station. Une mesure de la profondeur détermine alors la cote du sol.

Il est difficile d'obtenir par l'observation directe l'instant précis où le niveau de l'eau devient constant ou cesse de l'être. Nous pensons avoir obtenu des résultats suffisamment précis en procédant de la manière suivante.

Ayant en mains le tableau des observations de la marée en une station, nous choisissons une observation faite à un instant précédant légèrement l'instant d'immobilisation du plan d'eau. La hauteur notée à cet instant est supérieure d'une petite quantité h à la valeur constante notée un peu plus tard. En nous reportant à la courbe de

référence, nous déterminons la hauteur correspondant à cet instant et par soustraction de la quantité h la cote du plan d'eau en niveau constant à la station considérée.

Nous choisissons ensuite une observation faite quelques minutes après que le niveau de l'eau s'est remis à varier et par un raisonnement analogue, nous avons une deuxième détermination de la cote du plan d'eau en niveau constant.

Nous prenons la moyenne des deux valeurs ainsi obtenues pour le calcul de la cote du sol à la station considérée.

Voici les résultats pour les stations III à VI :

| | Morte-eau | Vive-eau | Valeur adoptée |
|---|---|---|---|
| STATION III | | | |
| Cote du plan d'eau en N.C. (*) | 2,16 m | 2,19 m | |
| Profondeur ..... | 0,63 » | 0,63 » | |
| Cote du sol ..... | 1,53 » | 1,56 » | 1,5 m |
| STATION IV | | | |
| Cote du plan d'eau en N.C. | 2,18 m | 2,21 m | |
| Profondeur ..... | 3,30 » | 3,45 » | |
| Cote du sol ..... | 1,12 » | 1,24 » | 1,2 m |
| STATION V | | | |
| Cote du plan d'eau en N.C. | 2,57 m | 2,60 m | |
| Profondeur ..... | 1,00 » | 1,00 » | |
| Cote du sol ..... | 1,57 » | 1,60 » | 1,6 m |
| 80 M EN AVAL DE LA STATION VI | | | |
| Cote du plan d'eau en N.C. | 2,96 m | | |
| Profondeur ..... | 0,50 » | | |
| Cote du sol ..... | 2,46 » | | 2,5 m |
| STATION VI | | | |
| Cote du plan d'eau en N.C. | | 3,38 m | |
| Profondeur ..... | | 0,25 » | |
| Cote du sol ..... | | 3,13 » | 3,1 m |

La figure 2 reproduit le relief schématique du chenal à partir de ces résultats.

(*) N. C. = Niveau constant.

## OBSERVATIONS HYDROLOGIQUES SIMULTANEES LE LONG DE L'ESTUAIRE

Les observations hydrologiques simultanées auxquelles nous avons procédé en morte-eau (3 juin) et en vive-eau (10 juin) et dont les résultats numériques sont consignés au tableau IV, nous ont fourni le tracé d'heure en heure du profil instantané des isohalines le long de l'estuaire. Les figures 10 à 18 (1) pour la morte-eau et 19 à 28 (2) pour la vive-eau représentent le profil des isohalines suivant l'axe de l'estuaire à chacune des heures d'observation. Les heures d'observation sont représentées par les mêmes notations que sur la figure 9.

La comparaison des figures 10 à 28 pour une même journée d'observations renseigne sur l'évolution de la structure hydrologique de l'estuaire en fonction de l'heure de la marée. Elle permet par ailleurs d'avoir une idée de l'erreur commise dans le tracé des isohalines à partir d'observations non strictement simultanées effectuées par un seul observateur progressant le long de l'estuaire.

### Observations en morte-eau

3 juin. — Beau temps. Vent faible, ciel peu nuageux le matin, nuageux l'après-midi.

| | | |
|---|---|---|
| Pleine mer | : | 11 h 12 |
| Basse mer | : | 17 h 35 |
| Mi-marée montante | : | 07 h 56 |
| Mi-marée descendante | : | 14 h 24 |

Les observations hydrologiques ont été faites aux heures suivantes :

| | | |
|---|---|---|
| PM — 2 | : | 09 h 00 |
| PM — 1 | : | 10 h 00 |
| PM | | 11 h 12 |
| PM + 1 | : | 12 h 15 |
| PM + 2 | : | 13 h 15 |
| m m ↓ | : | 14 h 30 |
| BM — 2 | : | 15 h 30 |
| BM — 1 | : | 16 h 30 |
| BM | | 17 h 35 |

### Dans la baie

A l'entrée de la baie, station I, la salinité varie très peu autour d'une valeur moyenne de 34,9 ‰. Nous pouvons sans erreur sensible considérer cette grandeur comme constante et égale à 34,9 ou 35,0 ‰

(1) Voir pages 268 à 270.
(2) Voir pages 271 à 273.

à cette station, à toute profondeur, à toute heure et à toute marée. Ceci revient à supposer qu'à l'entrée de la baie, on a constamment et à toute profondeur de l'eau de mer pure.

La coupe de l'isohaline 35,0 ‰ ne se présente pourtant pas, sur nos figures comme une verticale placée à la station I. C'est précisément le très faible gradient de la salinité dans cette région qui donne à cette ligne une forme incurvée se déformant sensiblement d'heure en heure.

Entre les stations I et II se trouve la partie la plus importante de la baie, la plus large, la plus profonde, et communiquant parfaitement avec la mer. En morte-eau, cette région présente généralement une structure hydrologique assez uniforme, peu affectée par la marée.

De PM — 2 à PM + 1, l'isohaline 34,5 ‰ se trouve placée à la station II. L eau entre I et II est donc assez homogène.

L'influence de l'eau douce ne se fait faiblement sentir dans cette région, qu'à partir de PM + 2, *la plus forte pénétration de l'eau douce ne se faisant pas à BM mais à BM* - 2, où la salinité en II atteint la valeur minima 28 ‰.

L'offensive de l'eau de mer reprend à partir de BM — 1.

Dans cette partie de la baie, les figures sont bien comparables entre PM — 2 et PM + 1. Comparaison difficile autour de la mi-marée descendante, de PM + 2 à BM — 2, possible mais peu satisfaisante entre BM — 1 et BM.

Le reste de la baie, de II à III, se trouve davantage influencé par la rivière : très faible profondeur du chenal ramifié, proximité des rives et de l'embouchure.

A P M — 2, dense stratification en couches horizontales.

A P M — 1, offensive de l'eau de mer, faible stratification, salinité moyenne 34 ‰.

La stratification est à nouveau importante à PM et PM + 1 (isohalines presque horizontales), plus faible à PM + 2 puis reprend de l'importance jusqu'en basse mer par suite de la diminution de la profondeur.

La station III, embouchure, est marquée par une stratification toujours dense, surtout dans la couche superficielle. Le maximum de stratification a lieu à PM + 2 et mm ↓ où la salinité varie de 12 à 23 ‰ entre 0 et 40 cm de profondeur.

Pas de comparaison possible entre PM — 2 et PM. Comparaison satisfaisante entre PM et PM + 1, puis entre BM — 1 et BM.

### Dans l'estuaire, en amont de l'embouchure

Localisation d'une poche d'eau de mer stagnante au fond de la fosse, station IV. Le fond de cette cuvette ne se trouve balayé par le flux marin qu'entre PM — 1 et PM + 1.

La forme et la position du noyau d'eau de mer se trouvent concrétisées par le tracé de l'isohaline 33,5 ‰.

A PM — 2, cette isohaline se trouve coupée en deux de part et d'autre de l'embouchure, l'isohaline 33,0 ‰ rejoignant la surface entre II et III.

A PM — 1, la branche de droite de l'isohaline 33,5 ‰ commence à déborder vers l'amont en plongeant.

A PM et PM + 1, l'isohaline 33,5 ‰ est continue et part de la surface dans la baie pour aboutir au fond, en amont de l'embouchure.

Elle est à nouveau coupée en deux, de part et d'autre de l'embouchure, à PM + 2.

*La poche d'eau de mer stagnante atteint son volume maximum à BM — 2, qui semble représenter la basse mer haline.* Elle se trouve alors limitée vers le haut par l'isohaline 29 ‰.

Cette limite supérieure est de :

33,0 ‰ à mm ↓
29,0 » à BM — 2
32,5 » à BM — 1
33;0 » à BM

La salinité en surface à la station IV est minima à PM — 1 (6,7 ‰ contre 12,1 ‰ à PM — 2 et 10,3 ‰ à PM). Si cette valeur, qui semble aberrante, n'est pas le fait d'une erreur de mesure, elle traduirait à cette station une offensive de l'eau douce en surface, dont le résultat serait de resserrer les isohalines vers l'aval.

La salinité en surface à la station IV est par contre maxima à PM + 1. Les isohalines s'incurvent vers le haut à cette station et sont resserrées dans la couche supérieure de 1 m d'épaisseur, où, en tous points, les salinités sont supérieures à PM et PM + 2.

A PM — 2, l'isohaline 25 ‰ sépare le faisceau de droite (aval), dont la concavité est dirigée vers le bas, de celui de gauche (amont), où cette concavité est dirigée vers le haut.

A PM — 1, c'est l'isohaline 15 ‰ qui fait cette séparation. Les isohalines de droite plongent vers le fond presque verticalement.

A partir de PM, les données numériques ne nous permettent pas de placer un point d'inflexion sur les isohalines de faible valeur.

A PM, on distingue toutefois deux familles d'isohalines : celle de droite, limitée à 25,0 ‰, dont les courbes ont une courbure accentuée qui les fait plonger presque verticalement, et celle de gauche à partir de 20,0 ‰, où les courbes sont sensiblement rectilignes. L'ensemble se trouve déporté vers l'amont par rapport à PM + 1.

A PM + 1, ces deux familles sont encore plus différenciées et séparées l'une de l'autre par l'isohaline 25 ‰. Celles de droite sont très resserrées et incurvées vers la droite à leur extrémité inférieure. Stratification horizontale dense dans les couches supérieures jusqu'au-delà de la station IV. A cette station, eau presque homogène, à salinité légèrement supérieure à 33 ‰. A partir de 15 ‰, le tracé des isohalines de gauche est sensiblement le même qu'à PM.

De PM + 2 à BM — 2, la stratification est uniforme dans cette partie de l'estuaire, l'influence de l'eau de mer se faisant sentir le plus loin à mm ↓. C'est à cet instant que la salinité à la station V est la plus élevée à tous niveaux.

A BM — 1 et BM, les isohalines sont resserrées vers le haut et de plus en plus déportées vers l'aval.

Dans l'estuaire, en amont de l'embouchure, de PM — 2 à PM + 2, la déformation des figures d'heure en heure les rend difficilement comparables. Une comparaison approximative est possible entre PM + 2 et mm ↓, à partir de la station V, vers l'amont. Assez bonne comparaison ensuite de BM — 2 à BM, sur toute la partie de l'estuaire en amont de l'embouchure.

En conclusion, en morte-eau, les figures sont rapidement déformées dans la partie amont en pleine mer, et dans la partie aval en basse mer.

Aux mi-marée la déformation est rapide dans tout l'estuaire.

### Observations en vive-eau

10 juin. — Beau temps, très peu nuageux. Vent très faible.

| | | |
|---|---|---|
| Basse mer ..... | : | 11 h 03 |
| Pleine mer ..... | : | 17 h 18 |
| Mi-marée montante ..... | : | 08 h 02 |
| Mi-marée descendante ..... | : | 14 h 10 |

Les observations hydrologiques ont été faites aux heures suivantes :

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm ↓ | : | 08 h 00 | | | | | | |
| BM — 2 | : | 09 h 00 | BM + 1 | : | 12 h 00 | PM — 2 | : | 15 h 10 |
| BM — 1 | : | 10 h 00 | BM + 2 | : | 13 h 00 | PM — 1 | : | 16 h 15 |
| BM | : | 11 h 00 | mm ↑ | : | 14 h 10 | PM | : | 17 h 18 |

### Dans la baie

Nous avons déjà signalé qu'à l'entrée de la baie, station I, la salinité était pratiquement constante, voisine de 35,0 ‰ à toute profondeur, à toute heure et à toute marée.

Dans toute la baie, la stratification est faible de mm ↓ jusqu'à BM + 2. Isohalines faiblement inclinées sur la verticale.

De mm ↓ à BM, les isohalines se déforment d'heure en heure mais gardent à peu près la même position. Par suite de la faible valeur de la profondeur, ces déformations n'affectent pas la comparabilité des figures, qui demeure bonne.

A BM + 1 et BM + 2, on note un décalage progressif des isohalines vers l'aval sans que l'aspect général des figures subisse un changement sensible.

A mm ↑ , brusque offensive de l'eau salée qui change radicalement le relief hydrologique de la baie. Les isohalines sont fortement décalées vers l'aval et davantage couchées. Stratification importante, surtout de la partie amont de la baie. La figure 25 a un aspect original qui ne permet de la comparer à aucune autre.

A PM — 2, l'isohaline 34,5 ‰ est déjà en amont de II et s'enfonce jusqu'à la station IV. Dans toute la baie, l'eau est presque homogène, la salinité variant entre 34,5 et 34,8 ‰, sauf en surface à l'embouchure, où elle atteint 33,8 ‰. Stratification inexistante dans la baie.

A PM — 1 et PM, l'eau de mer pure a envahi non seulement toute la baie, mais aussi l'estuaire jusqu'à la station IV. Dans toute cette région, la salinité varie entre 34,5 et 35,0 ‰ et les isohalines sont sensiblement verticales.

Les figures sont comparables entre elles jusqu'au delà de la station IV. La comparaison demeure satisfaisante entre ces deux figures et celle de PM — 2 dans la baie seulement.

A l'embouchure même, station III, stratification horizontale dense de mm ↓ à mm ↑ , inexistante ensuite.

*En résumé*, les changements radicaux de la structure hydrologique de la baie se font aux deux mi-marrée. Les figures demeurent comparables entre elles au voisinage des heures de pleine mer et de basse mer. Sauf à la mi-marée montante, la stratification dans la baie demeure faible, sinon négligeable.

### Dans l'estuaire, en amont de l'embouchure

A la station IV, la poche d'eau de mer stagnante a une salinité moyenne plus élevée en vive-eau qu'en morte-eau. Cette poche est ici matérialisée par l'isohaline 34,0 ‰. La libre communication avec le large s'établit à PM — 2.

La limite supérieure de la poche aux différentes heures de la marée peut être matérialisée par les isohalines suivantes :

| | |
|---|---|
| 27, 0 ‰ | à mm ↓ |
| 28, 0 | à BM — 2 |
| 29, 0 | à BM — 1 et BM |
| 26, 0 | à BM + 1 |
| 25, 0 | à BM + 2 |
| 33, 5 | à mm ↑ |

Le volume maximum de la poche d'eau de mer se situe à BM + 2 alors qu'il avait lieu à BM — 2 en morte-eau.

Dans le reste de l'estuaire, les figures demeurent comparables entre elles de mm ↓ jusqu'à BM + 1, les isohalines de faible valeur étant progressivement décalées vers l'aval.

A la station VI, S est toujours voisin de 1 ‰.

A BM + 2, les isohalines sont resserrées vers le haut. Stratification en couches horizontales sur une très grande distance, de 0 à 1 mètre de profondeur, très faible en-dessous. A la station IV, la salinité augmente de 15.6 à 33,2 ‰ de 0 à 1 m, puis varie très peu jusqu'au fond.

A mm ↑ le début de la communication de la fosse IV avec le large donne à la figure 25 une forme originale, différente de toutes les autres.

Stratification horizontale assez homogène, en lignes presque parallèles, serrées entre 0 et 1 m (à la station IV, S croît de 13,0 à 32,0 ‰ de 0 à 1 m de profondeur), puis plus espacées et presque équidistantes jusqu'au fond.

A PM — 2, franche communication avec le large. Les isohalines plongent vers le fond au voisinage de la station IV.

A PM — 1 et PM, la stratification ne commence qu'en amont de la station IV.

Dans l'estuaire, en amont de l'embouchure, la comparabilité entre les figures est excellente de mm ↓ à BM + 1, acceptable entre BM et BM + 2, mauvaise de mm ↑ à PM — 2, bonne seulement jusqu'à la station IV entre PM — 1 et PM.

En conclusion, en vive-eau, dans l'ensemble de l'estuaire la comparaison entre les figures est satisfaisante en basse mer, de mm ↓ à BM + 2. En pleine mer, comparaison possible entre les figures se rapportant à PM — 1 et PM, depuis l'entrée de la baie jusqu'à la station IV, peu satisfaisante en amont de IV. Pas de comparaison possible à la mi-marée montante, de mm ↑ à PM — 2.

La comparaison des deux études, en morte-eau et en vive-eau, nous permet de tirer les conclusions suivantes, valables au moins pour l'estuaire de Fascène :

*En pleine mer*, déformation des figures côté amont à toutes marées (morte-eau et vive-eau).

*En basse mer*, déformation côté aval en morte-eau. En vive-eau, la déformation est moins sensible par suite de la faible profondeur de la baie.

Figures toujours déformées en mi-marée.

Sauf aux mi-marées, les déformations d'heure en heure sont moins sensibles en vive-eau qu'en morte-eau.

Du moins en ce qui concerne le cas particulier de Fascène, un observateur unique, voulant faire une étude hydrologique de l'estuaire en progressant le long du chenal, obtiendrait des résultats le moins erronés possible en procédant de la manière suivante :

*En pleine mer*, faire les observations en progressant d'amont en aval.

*En morte eau*, commencer à la station V, peu de temps avant la PM, de façon à se trouver en IV à la PM. *En vive eau*, commencer à la station VI quelques instants avant la PM, de façon à se trouver à la station V à la PM et à IV peu après. Continuer ensuite vers l'aval.

*En basse mer de morte-eau*, procéder en sens inverse, d'aval en amont. Commencer à la station II, peu avant la BM, de façon à se trouver à l'embouchure, station III vers la basse-mer et continuer vers l'aval.

*En basse mer de vive-eau*, une étude hydrologique de l'estuaire par un seul observateur donnerait des résultats peu erronés quel que soit le mode de progression le long du chenal.

La quasi-constance de la salinité à la station I, permet en toute circonstance de supprimer les observations à cette station dans le but de gagner du temps.

Pour illustrer ces conclusions, nous prenons l'exemple, représenté à la figure 29, d'un observateur unique voulant étudier l'estuaire de Fascène en pleine mer de morte-eau. Cet exemple est tiré de nos observations du 3 juin (observations simultanées en morte-eau).

Au centre, tracé des isohalines dans le cas idéal où toutes les observations sont simultanées. Cette figure, identique à la figure 12, reproduit les résultats des observations faites effectivement le 3 juin à 11 h 12 (PM).

En haut, les observations sont supposées se faire de l'amont vers l'aval, cas devant conduire au minimum de déformation. Pour les stations VI et V, nous avons pris les valeurs se rapportant aux observations faites à PM — 1 ; pour les stations IV et III, celles se rapportant à PM ; et pour la station II, celles se rapportant à PM + 1. Enfin, à la station I, nous avons supposé la salinité uniformément égale à 35,0 ‰.

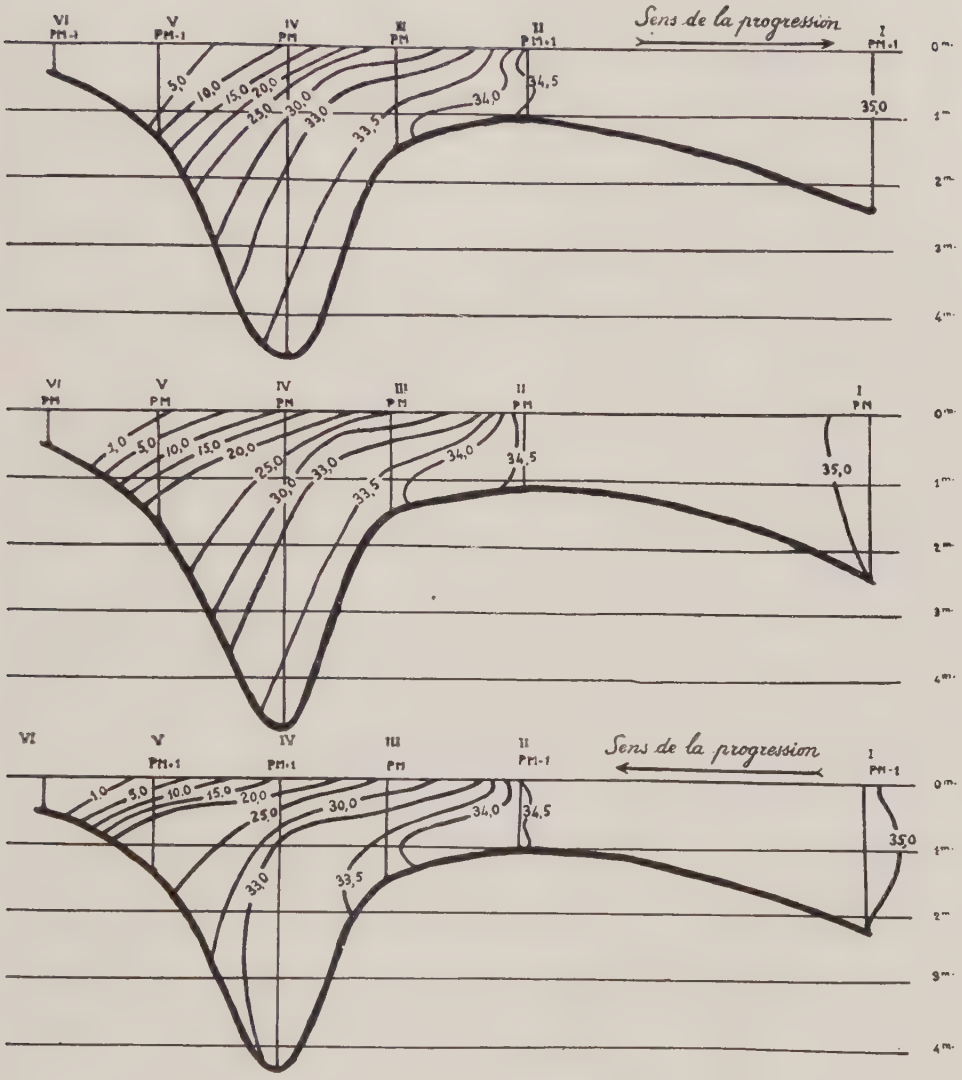



Fig. 29. — Déformation des isohalines en pleine-mer de morte-eau, lorsque les observations le long de l'estuaire ne sont pas simultanées. — *En haut :* Progression de l'amont vers l'aval ; *au milieu :* Cas idéal des observations simultanées (identique à la fig. 12) ; *en bas :* Progression de l'aval vers l'amont.

En bas, la progression de l'observateur se fait de l'aval vers l'amont et devrait conduire à la déformation maxima. Pour les stations I et II, nous avons pris les résultats des observations faites à PM — 1 ; pour la station III, celles faites à PM, et pour les stations IV et V, celles faites à PM + 1. Pas d'observations à la station VI, où la salinité est considérée comme nulle.

La comparaison de ces trois graphiques donne une idée de l'importance de la déformation des courbes isohalines dans chacun des deux cas extrêmes.

## HYDROLOGIE DE L'ESTUAIRE EN FONCTION DE LA MAREE

Les résultats numériques de nos observations sont consignés au tableau VI. Les figures 31 à 62 (1) représentent le tracé des différentes courbes iso pour chaque série d'observations.

Au sujet de ce tableau et de ces courbes, nous devons faire les remarques suivantes.

1° Les observations n'ont pas toujours été faites exactement aux mêmes points. Nous avons indiqué la position des stations pour chaque cas particulier en attribuant à ces stations des numéros consécutifs, en chiffres arabes, dans l'ordre de notre progression dans l'estuaire. Une station faite en un même point à des dates différentes peut donc avoir des numéros différents. La position des stations fixes I à VII figure également sur tous les graphiques.

Lorsqu'une ssation d'observation coïncide avec l'une des stations fixes I à VII, seul le numéro de cette dernière station (en chiffres romains) figure sur les graphiques.

2° Nous avons indiqué pour chaque série d'observations devant correspondre à un instant donné de la marée, l'amplitude moyenne de la marée pour la demi-période comprenant cet instant. Ainsi, pour la série des observations se rapportant à la basse mer de morte-eau du 18 avril, nous avions :

Pleine mer précédente : 09 h 32 ; hauteur : 3,0 m
Basse mer observée : 15 h 48 ; » 1,4 m
Pleine mer suivante : 22 h 10 ; » 3,1 m

Amplitude de la demi-période précédant l'heure de l'observation : 3,0 — 1,4 = 1,6 m.

Amplitude de la demi-période suivant l'heure de l'observation : 3,1 — 1,4 = 1,7 m.

(1) Voir pages 274 à 284.

Amplitude moyenne : 1,65 m.

Pour des observations se rapportant à une mi-marée, il n'y a qu'une amplitude à considérer : la différence de hauteur entre les deux sommets de la courbe de marée de part et d'autre de la mi-marée observée.

3° La première colonne du tableau VI mentionne l'heure moyenne à laquelle se sont faites les observations en une station.

Les observations le long de l'estuaire se rapportant à un instant donné de la marée (pleine mer, basse mer, mi-marée) n'étant pas simultanées, nous avons pensé utile, à côté de l'heure réelle de chaque observation, de mentionner la différence du temps entre le moment où s'est faite l'observation et celui où elle aurait dû se faire si toutes les observations de la série avaient pu être simultanées. Ce décalage de temps est mentionné dans la deuxième colonne sous la dénomination d' « heure relative » (Hr). Il est exprimé en heure et dixième d'heure, et affecté du signe — si l'observation est faite en avance et + si elle est faite en retard.

Prenons l'exemple de la série d'observations faite le 18 avril dans le but d'étudier l'hydrologie de l'estuaire en une pleine mer de morte-eau. L'heure à laquelle auraient dû se faire toutes les observations de la série est celle de la pleine mer, soit 13 h 32. En fait, les observations ont commencé à 12 h 25 au pont routier pour se terminer à 14 h 44 à l'îlot. La première observation (pont routier) s'est faite 1 heure 07 minutes en avance, soit Hr = — 1,1 ; la dernière observation s'est faite 1 heure 12 minutes après la pleine mer, soit Hr = + 1,2.

La mention de l'heure relative est faite dans le but de donner une idée de la déformation à craindre pour chaque figure par suite de la non simultanéité des observations qui s'y rapportent.

L'heure relative est également mentionnée sur les figures 31 à 62 au-dessus des numéros d'ordre des stations d'observation.

4° Si, durant une série d'observations se rapportant à une pleine mer ou une basse mer, le niveau de l'eau ne varie pas d'une façon sensible, il n'en est pas de même pour les mi-marée pour lesquelles ces variations peuvent être très importantes.

Sur les graphiques représentatifs d'une série d'observations non simultanées se rapportant à une mi-marée, le plan d'eau de l'estuaire ne devrait donc pas être représenté par une droite horizontale, mais plutôt, par une courbe rendant compte de ces variations de niveau d'un point à un autre.

Sur nos figures, nous avons donc attribué à ce plan d'eau, en chaque station, une cote égale à la différence algébrique entre les hauteurs de la marée au moment de l'observation et à l'heure de la mi-marée observée.

Prenons l'exemple de la mi-marée montante de vive-eau du 12 avril. Amplitude : 3,9 m.

La figure 30 représente le tracé approximatif de la courbe de marée pour le quart de période comprenant l'heure de cette mi-marée. Ce tracé est obtenu en appliquant la règle bien connue des $\frac{1}{12}$, le niveau de l'eau à la mi-marée étant pris pour origine des hauteurs.

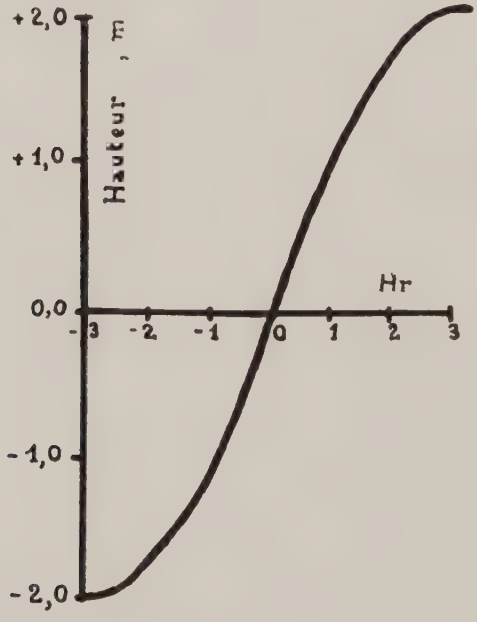



Fig. 30. — Marée de vive-eau du 12 avril. Courbe construite d'après la règle des 1/12.

A la station I, les observations se sont faites à Hr = — 1,2 auquel correspond, sur la figure 61, la cote : — 1,1 m.

A la station VII, Hr = + 0,8 ; cote : + 0,8 m.

Sur les figures 59 à 62 se rapportant à cette mi-marée, le plan d'eau est représenté par une courbe présentant une concavité tournée vers le haut.

### Marées de morte-eau

Les observations ont été faites vers midi et au début de l'après-midi sauf en mi-marée montante, où elles ont eu lieu dans la matinée.

L'eau du large se caractérise par une température légèrement plus élevée que celle de la rivière (température moyenne observée à l'aval

+ 30,0° C) et par une plus grande richesse en oxygène dissous. Energiquement brassée, elle est généralement saturée en oxygène et fréquemment sursaturée.

On doit s'attendre à une très légère déformation des figures côté amont en pleine mer et côté aval en basse mer.

Pleine mer.

6 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude moyenne : 0,9 m. Les observations se sont déroulées depuis le pont routier jusqu'à l'îlot. Heure relative : de — 1,1 à + 1,2.

Dans la moitié aval de la baie, eau assez homogène, sauf dans une mince couche superficielle. S = 30,0 ‰ ; $\theta$ = 30,0° C ; $\sigma_t$ = 18,0

La stratification s'accentue ensuite pour devenir très dense à partir de l'embouchure avec une excellente stabilité. La pénétration de l'eau de mer par le fond ne dépasse pas la station V. En surface l'eau est pratiquement douce à partir de la station IV vers l'amont.

Faible communication de la fosse IV avec le reste de l'estuaire.

Un noyau à température élevée est localisé entre la station II et l'embouchure. La température y atteint 32,5° C. L'existence de ce noyau diminue la stabilité au-delà de 50 cm de profondeur.

A l'exception de la fosse IV, l'eau est riche en oxygène (90 à 100 %) dans tout l'estuaire. Elle décroît jusqu'à 80 % au voisinage du fond à l'entrée de la baie.

A la fosse IV, la concentration en oxygène dissous décroît régulièrement de la surface vers le fond, de 90 à 50 %. L'eau qui parvient au fond provient en effet uniquement de la couche superficielle de la moitié amont de la baie. Dans une bonne partie de la dépression, vers la droite, l'eau ne se trouve pas renouvelée et le taux en oxygène dissous y demeure plus faible (les branches de droite des courbes iso $O_2$ % sont presque verticales).

En pleine mer de morte-eau la communication avec le large n'est donc pas suffisamment franche pour supprimer l'effet de la réduction organique opérée aux heures où cette communication est totalement coupée.

Mi-marée descendante.

18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 1,6 m. Les observations se sont déroulées depuis le pont routier jusqu'à l'îlot. Heure relative de : — 0,9 à + 1,2.

L'eau de mer a évacué la plus grande partie de l'estuaire. Au milieu de la baie, la salinité n'est que de 10 ‰. Elle est de 2 ‰ à la station II, Dans la baie, les nappes isohalines sont peu inclinées sur

la verticale. Dans l'estuaire même, en amont de l'embouchure, on ne trouve de l'eau de mer que dans la dépression IV, qui se trouve totalement coupée de l'aval.

La température et la concentration en oxygène dissous diminuent régulièrement de l'aval vers l'amont, respectivement de 30,0 à 28,5° C et de 110 à 70 %.

Au fond de la fosse IV, la concentration en oxygène dissous atteint 35 %. Stabilité médiocre dans tout l'estuaire, sauf, bien entendu, à la station IV, où se trouve la nappe d'eau de mer stagnante.

Basse mer.

18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude moyenne : 1,6 m. Les observations ont commencé à l'îlot, à l'entrée de la baie, et se sont arrêtées 400 m après la station IV. Heure relative : de — 1,5 à + 0,1. Très légère déformation probable des figures vers l'aval.

Au point de vue salinité, la figure est analogue à celle de la mi-marée, avec cette différence que dans la cuvette IV les isohalines ont ici leur concavité tournée vers le haut, ce qui semble indiquer à cette station une absence totale de mouvement. La stabilité verticale est excellente en cet endroit, alors qu'elle est inexistante partout ailleurs.

Dans presque toute la baie, la température est constante et égale à 30,0° C. Elle diminue jusqu'à 28,5° C au-delà de l'embouchure.

L'eau venant du large est sursaturée en oxygène (110 %). La concentration dans la baie diminue régulièrement vers l'amont jusqu'à 80 %. A la cuvette de la station IV la concentration en oxygène dissous diminue, depuis la surface jusqu'au fond de 70 à 30 %.

Mi-marée montante.

7 mars. Beau temps, nuageux. Amplitude : 0,5 m. Les observations ont commencé au pont routier et se sont arrêtées à l'embouchure. Heure relative : de — 1,0 à + 1,0.

Nous sommes arrivé à l'embouchure avec une heure de retard sur l'heure théorique des observations et nous avons estimé inutile d'aller plus loin, des observations se faisant avec un retard plus important risquant de ne plus avoir de signification pour l'étude de cette mi-marée.

La marée n'a pas encore atteint l'estuaire, mais sa poussée dynamique s'y fait sentir par une déformation des isohalines qui tournent à nouveau leur concavité vers le bas. La température diminue toujours de l'aval vers l'amont de 29,0 à 27,0° C. Au fond de la cuvette IV, la masse d'eau de mer stagnante est isotherme.

Dans toute la partie étudiée de l'estuaire, la concentration en oxygène dissous est pratiquement constante, ne variant que de 85 % en surface à 80 % au fond. A la station IV, la décroissance atteint 30 % au fond de la fosse. Bonne stabilité à la station IV, inexistante partout ailleurs, la totalité de l'eau étant pratiquement douce.

### Marées de vive-eau

Les déformations à craindre pour les figures en pleine et basse mer, par suite de la non simultanéité des observations, sont ici beaucoup plus faibles qu'en morte-eau et pratiquement négligeables. En pleine mer, l'observation la plus en amont s'est faite avec un retard de trois quart d'heure seulement.

Les eaux sont ici plus chaudes au large que du côté de la rivière. Ce fait est moins visible en pleine mer où les eaux du large envahissent la plus grande partie de l'estuaire. Ce cas a par ailleurs été observé dans l'après-midi et l'on trouve en amont une masse d'eau saumâtre légèrement plus chaude que partout ailleurs. Par suite de la grande amplitude des mouvements dus à la marée, les eaux sont ici en moyenne plus oxygénées qu'en morte-eau. Enfin, en basse mer de vive-eau, on n'observe pas un renversement du sens de la concavité des isohalines au-dessus de la fosse IV.

### Pleine mer.

11 mai, après-midi. Beau temps, très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,9 m. Les observations ont débuté à la station II, dans la baie, pour se terminer à la station VI (point d'accès à la rivière). Heure relative : de — 1,5 à + 0,7. S'attendre à une déformation insignifiante à l'extrémité amont.

La mer a envahi la plus grande partie de l'estuaire. Jusqu'à 200 m au-delà de la station IV, on trouve, à toute profondeur, de l'eau de mer presque pure et homogène : température de 30,0 à 30,5° C, salinité de 33,5 à 34,0 ‰, soit un pourcentage d'eau de mer de 96 à 97 % ; densité 21,0 ; oxygène dissous : 100 à 105 %.

A la fosse IV, la marée a totalement balayé la nappe d'eau de mer qui stagnait au fond. Cette fosse est maintenant remplie d'eau de mer fraîche et saturée d'oxygène. Au fond de la fosse, on a $O_2$ = 100 %. Une stratification dense s'observe 300 m en amont de la station IV sur une distance d'environ 500 m. Les isohalines sont très serrées à la surface. 150 m au-delà du point où commence la stratification, l'eau est déjà saumâtre en surface (50 % d'eau de mer) ; elle est totalement douce 250 m plus loin. Le front d'eau de mer arrive, par le fond à 150 m en aval du pont routier.

Les couches d'eau saumâtre sont légèrement plus chaudes que l'eau de mer plus en aval. D'aval en amont leur température décroît de 31,0 à 29,5° C.

Dans l'ensemble de l'estuaire, l'eau est très riche en oxygène dissous dont le taux varie de 90 à 110 %.

MI-MARÉE DESCENDANTE.

13 avril, matin. Temps variable. Amplitude : 3,5 m. Les observations se sont déroulées depuis le pont jusqu'à l'îlot. Heure relative de — 1,0 à + 1,2.

Dans la baie, il n' y a déjà plus que de l'eau saumâtre. Salinité maxima : 25,0 ‰ à l'entrée de la baie. Faible stabilité dans toute la baie. La cuvette IV est coupée du reste de l'estuaire et le restera jusqu'au voisinage de la prochaine pleine mer. La masse d'eau de mer enfermée dans cette cuvette accuse une stratification très serrée et une exceptionnelle stabilité verticale. 300 m au-delà de la station IV, on ne trouve pratiquement plus que de l'eau douce. La température diminue régulièrement d'aval en amont. De 29,5° C à l'entrée de la baie, elle tombe à 26,0° C à la limite amont de la masse d'eau saumâtre. L'eau est en moyenne moins oxygénée qu'en pleine mer. Dans la fosse IV, très forte décroissance de la concentration en oxygène dissous avec la profondeur. Nous avons eu la fortune d'atteindre, dans nos observations au fond de la fosse IV, un point où l'eau est totalement dépourvue d'oxygène : $O_2 = 1$ %.

BASSE MER.

11 mai, matin. Temps très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,6 m. Les observations ont débuté à l'îlot pour se terminer à la station IV. Déformation des figures négligeable. Heure relative : de — 0,9 à + 0,4.

La structure hydrologique de l'estuaire est sensiblement analogue au cas précédent. Dans la baie où les niveaux sont excessivement faibles, isohalines et isothermes sont sensiblement verticales donnant une stabilité verticale médiocre. Le front d'eau de mer atteint sensiblement le même point qu'en mi-marée descendante. La concentration en oxygène reste en moyenne plus faible qu'en pleine mer. Même noyau d'eau de mer stagnante en IV, mais ici, cette masse d'eau est homotherme ($\theta$ = 27,5° C).

MI-MARÉE MONTANTE.

12 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 3,9 m. Les observations ont commencé à la station II pour se terminer au pont routier. Heure relative : de — 1,2 à + 0,8.

Notre thermomètre s'est cassé à la station VI. Nous n'avons donc aucune valeur de la température pour cette station et la suivante En ces deux stations l'eau est uniformément douce. Nous avons pris la valeur $\vartheta$ = 30,0° C pour le calcul de $O_2$ % et de $\sigma_t$.

En IV, la station n'a pas été faite exactement au-dessus de la fosse, et nos figures indiquent une profondeur plus faible. Seule la couche supérieure des isohalines y figure. Ces lignes sont ici moins serrées qu'en basse mer. La température est uniforme dans tout l'estuaire, ne variant que de 29,5 à 30,0° C. Les eaux sont à nouveau riches en oxygène sauf, bien entendu dans la fosse IV où le phénomène de réduction organique se maintient. Dans la rivière la concentration en oxygène dissous atteint 110 %.

En amont de la station IV, nous avons rencontré une deuxième cuvette ne contenant que de l'eau douce, où l'eau est sursaturée d'oxygène sur toute la profondeur. La comparaison entre cette cuvette et celle de la station IV est intéressante. La station IV ne se remplit qu'en pleine mer et reste ensuite coupée du reste de l'estuaire, l'eau douce de la rivière s'écoulant à la surface au-dessus d'une masse d'eau salée stagnante qui s'apauvrit progressivement en oxygène par réduction organique. La deuxième cuvette, par contre, reste en permanence entièrement balayée par le cours d'eau douce et aucun phénomène de réduction ne peut s'y observer.

### Tableau IV

Résultats numériques des observations simultanées de la salinité effectuées le long de l'estuaire

PM = heure de la pleine-mer
PM — 1 = 1 heure avant l'heure de la pleine-mer
PM — 2 = 2 heures » » » »
PM + 1 = 1 heure après » » »
PM + 2 = 2 heures » » » »

BM = heure de la basse-mer
BM — 1 = 1 heure avant l'heure de la basse-mer
BM — 2 = 2 heures » » » »
BM + 1 = 1 heure après » » »
BM + 2 = 2 heures » » » »

S = Salinité ‰ Précision : ± 0,1 ‰

X = Pourcentage d'eau de mer de l'échantillon d'eau de l'estuaire (X = 2,86 S). — Précision : ± 1 %.

## Observations simultanées en morte-eau

*3 juin.* — Beau temps, peu nuageux le matin ; nuageux l'après-midi. Vent faible.
PM = 11 h 12 3,0 m
BM = 17 h 35 1,6 m } amplitude = 1,4 m
Mi-marée montante : 07 h 56
Mi-marée descendante : 14 h 24

**STATION I** (Ilot)

Observateur : M. Menaché.

| Heure (TU+3) | Fond m | Profondeur m | S‰ | X% |
|---|---|---|---|---|
| — | — | — | — | — |
| 08.00 | 1,40 | 0 | 35,1 | 100 |
| (mm ↑) | | 0,40 | 34,8 | 100 |
| | | 0,80 | 34,9 | 100 |
| | | 1,10 | 34,9 | 100 |
| 09.00 | 1,80 | 0 | 35,2 | 100 |
| (PM-2) | | 0,50 | 35,2 | 100 |
| | | 1,00 | 34,7 | 99 |
| | | 1,50 | 34,9 | 100 |
| 10.00 | 2,20 | 0 | 34,9 | 100 |
| (PM-1) | | 0,60 | 34,9 | 100 |
| | | 1,20 | 34,7 | 99 |
| | | 1,90 | 34,8 | 100 |
| 11.10 | 2,35 | 0 | 35,1 | 100 |
| (PM) | | 0,70 | 35,1 | 100 |
| | | 1,40 | 35,1 | 100 |
| | | 2,05 | 34,9 | 100 |
| 12.15 | 2,30 | 0 | 34,7 | 99 |
| (PM+1) | | 0,60 | 35,1 | 100 |
| | | 1,30 | 34,9 | 100 |
| | | 2,00 | 35,1 | 100 |
| 13.15 | 1,90 | 0 | 35,1 | 100 |
| (PM+2) | | 0,50 | 35,1 | 100 |
| | | 1,00 | 34,9 | 100 |
| | | 1,60 | 34,9 | 100 |
| 14.30 | 1,50 | 0 | 35,0 | 100 |
| (mm ↓) | | 0,40 | 35,1 | 100 |
| | | 0,80 | 35,1 | 100 |
| | | 1,20 | 34,9 | 100 |
| 15.30 | 1,25 | 0 | 34,9 | 100 |
| (BM-2) | | 0,30 | 34,9 | 100 |
| | | 0,60 | 35,1 | 100 |
| | | 0,95 | 35,0 | 100 |
| 16.30 | 1,00 | 0 | 34,9 | 100 |
| (BM-1) | | 0,25 | 34,9 | 100 |
| | | 0,50 | 34,9 | 100 |
| | | 0,70 | 35,1 | 100 |
| 17.35 | 0,90 | 0 | 34,7 | 99 |
| (BM) | | 0,20 | 35,2 | 100 |
| | | 0,40 | 35,2 | 100 |
| | | 0,60 | 34,9 | 100 |

**STATION II** (Palétuviers)

Observateur : M. Razafindraibe.

| Heure (TU+3) | Fond m | Profondeur m | S‰ | X% |
|---|---|---|---|---|
| — | — | — | — | — |
| 08.00 | 0,37 | 0 | 32,9 | 94 |
| (mm ↑) | | 0,10 | 33,8 | 97 |
| | | 0,25 | 33,8 | 97 |
| | | 0,37 | 33,6 | 96 |
| 09.00 | 0,64 | 0 | 34,5 | 99 |
| (PM-2) | | 0,20 | 34,5 | 99 |
| | | 0,40 | 34,3 | 98 |
| | | 0,64 | 34,7 | 99 |
| 10.00 | 0,98 | 0 | 34,6 | 99 |
| (PM-1) | | 0,30 | 34,1 | 97 |
| | | 0,65 | 34,5 | 99 |
| | | 0,98 | 34,4 | 98 |
| 11.12 | 1,40 | 0 | 34,7 | 99 |
| (PM) | | 0,35 | 34,6 | 99 |
| | | 0,75 | 34,6 | 99 |
| | | 1,40 | 34,8 | 100 |
| 12.15 | 1,05 | 0 | 34,5 | 99 |
| (PM+1) | | 0,30 | 34,7 | 99 |
| | | 0,70 | 34,4 | 98 |
| | | 1,05 | 34,7 | 99 |
| 13.15 | 0,78 | 0 | 33,2 | 94 |
| (PM+2) | | 0,30 | 34,3 | 98 |
| | | 0,60 | 34,4 | 98 |
| | | 0,78 | 34,6 | 99 |
| 14.30 | 0,40 | 0 | 31,4 | 90 |
| (mm ↓) | | 0,20 | 32,5 | 93 |
| | | 0,40 | 32,5 | 93 |
| 15.30 | 0,10 | 0 | 27,8 | 80 |
| (BM-2) | | 0,10 | 28,7 | 82 |
| 16.30 | 0,10 | 0 | 33,0 | 94 (1) |
| (BM-1) | | 0,10 | 33,7 | 96 |
| 17.30 | 0,10 | 0 | 31,1 | 94 |
| BM | | 0,10 | 33,1 | 94 |

(1) Fond découvert à la station I. Prélèvement en un point voisin du chenal.

**STATION III** (Embouchure)

Observateur : M. Randriakoto.

| Heure (TU+3) | Fond m | Profondeur m | S‰ | X% |
|---|---|---|---|---|
| — | — | — | — | — |
| 08.15 | 0,90 | 0 | 31,2 | 89 |
| | | 0,30 | 31,8 | 93 |
| | | 0,60 | 32,3 | 93 |
| | | 0,90 | 32,8 | 94 |
| 09.00 | 1,10 | 0 | 12,1 | 34 |
| (PM-2) | | 0,40 | 32,9 | 94 |
| | | 0,80 | 33,4 | 95 |
| | | 1,10 | 33,3 | 95 |
| 10.00 | 1,35 | 0 | 18,4 | 52 |
| (PM-1) | | 0,40 | 33,7 | 96 |
| | | 0,80 | 33,5 | 96 |
| | | 1,35 | 33,4 | 95 |
| 11.12 | 1,50 | 0 | 26,6 | 76 |
| (PM) | | 0,50 | 33,2 | 94 |
| | | 1,00 | 33,9 | 97 |
| | | 1,50 | 33,8 | 97 |
| 12.15 | 1,40 | 0 | 11,8 | 34 |
| (PM+1) | | 0,50 | 32,3 | 93 |
| | | 1,00 | 33,4 | 95 |
| | | 1,40 | 33,8 | 97 |
| 13.15 | 1,20 | 0 | 11,9 | 34 |
| (PM+2) | | 0,40 | 33,2 | 94 |
| | | 0,80 | 33,2 | 94 |
| | | 1,20 | 33,3 | 95 |
| 14.30 | 0,80 | 0 | 11,4 | 32 |
| (mm ↓) | | 0,25 | 31,4 | 90 |
| | | 0,50 | 33,2 | 94 |
| | | 0,80 | 32,9 | 94 |
| 15.30 | 0,65 | 0 | 10,2 | 34 |
| (BM-2) | | 0,20 | 24,9 | 72 |
| | | 0,40 | 31,6 | 91 |
| | | 0,65 | 32,2 | 92 |
| 16.30 | 0,63 | 0 | 11,0 | 31 |
| (BM-1) | | 0,20 | 28,5 | 82 |
| | | 0,40 | 31,9 | 92 |
| | | 0,63 | 32,3 | 93 |
| 17.35 | 0,63 | 0 | 9,5 | 28 |
| (BM) | | 0,20 | 29,1 | 83 |
| | | 0,40 | 31,9 | 92 |
| | | 0,63 | 32,7 | 93 |

**STATION** IV (Fosse du Parc à bœufs.)

Observateur : M. Ranaivoarison.

| Heure (TU+3 | Fond m | Profondeur m | S‰ | X% |
|---|---|---|---|---|
| 08.30 | 4,80 | 0 | 9,2 | 26 |
| | | 1,50 | 33,4 | 96 |
| | | 3,00 | 34,0 | 97 |
| | | 4,50 | 33,4 | 96 |
| 09.00 | 4,90 | 0 | 9,1 | 26 |
| (PM-2 | | 1,50 | 32,7 | 93 |
| | | 3,00 | 33,6 | 96 |
| | | 4,59 | 33,2 | 94 |
| 10.00 | 4,90 | 0 | 6,7 | 19 |
| PM-1) | | 1,60 | 33,1 | 94 |
| | | 3,10 | 33,4 | 95 |
| | | 4,60 | 33,2 | 94 |
| 11.12 | 4,70 | 0 | 10,3 | 30 |
| PM | | 1,50 | 32,9 | 94 |
| | | 3,05 | 33,2 | 94 |
| | | 4,40 | 33,8 | 97 |
| 12.15 | 4,30 | 0 | 15,0 | 43 |
| PM+1 | | 1,00 | 33,2 | 94 |
| | | 2,50 | 33,1 | 94 |
| | | 4,00 | 33,1 | 94 |
| 13.15 | 4,10 | 0 | 10,3 | 30 |
| PM+2 | | 1,00 | 32,0 | 92 |
| | | 2,00 | 34,4 | 98 |
| | | 3,80 | 33,8 | 97 |
| 14.30 | 3,70 | 0 | 9,2 | 26 |
| (mm ↓) | | 1,50 | 32,7 | 93 |
| | | 3,00 | 33,4 | 95 |
| | | 3,40 | 33,6 | 96 |
| 15.30 | 3,40 | 0 | 13,6 | 39 |
| (PM-2 | | 1,00 | 32,7 | 93 |
| | | 3,00 | 33,6 | 96 |
| | | 3,10 | 33,6 | 96 |
| 16.30 | 3,30 | 0 | 9,2 | 26 |
| (BM-1) | | 1,00 | 32,3 | 93 |
| | | 2,00 | 33,6 | 96 |
| | | 3,00 | 33,6 | 96 |
| 17.35 | 3,30 | 0 | 8,3 | 24 |
| (BM) | | 1,00 | 32,3 | 93 |
| | | 2,00 | 33,2 | 94 |
| | | 3,00 | 33,6 | 96 |

**STATION** V (Milieu de la rivière)

Observateur : M. Jobilahy.

| Heure (TU+3) | Fond m | Profondeur m | S‰ | X% |
|---|---|---|---|---|
| 09.00 | 1,10 | 0 | 0,9 | 3 |
| (PM-2) | | 0,55 | 1,1 | 3 |
| | | 1,10 | 20,4 | 58 |
| 10.00 | 1,34 | 0 | 1,1 | 3 |
| (PM-1) | | 1,00 | 2,6 | 8 |
| | | 1,34 | 12,1 | 34 |
| 11.12 | 1,55 | 0 | 0,9 | 3 |
| (PM) | | 1,25 | 20,3 | 58 |
| | | 1,55 | 22,8 | 66 |
| 12.15 | 1,35 | 0 | 1,8 | 6 |
| (PM+1) | | 1,15 | 22,6 | 65 |
| | | 1,35 | 23,1 | 66 |
| 13.15 | 1,21 | 0 | 2,2 | 6 |
| (PM+2) | | 0,90 | 22,1 | 63 |
| | | 1,21 | 23,3 | 67 |
| 14.30 | 1,30 | 0 | 2,7 | 8 |
| (mm ↓) | | 0,55 | 21,2 | 60 |
| | | 1,30 | 23,1 | 66 |

**STATION** VI (Point d'accès à la rivière)

Observateur : M. Fiori.

La marée n'ayant pas atteint ce point, les observations ont été faites à 80 m en aval de la station, profondeur : 0,50 m, où une dénivellation de 3 cm a été observée en PM. Les échantillons prélevés en ce dernier point, à toute heure et à toute profondeur, ont une salinité nulle.

⁂

## Observations simultanées en vive-eau

*10 juin.* — Beau temps, très peu nuageux, vent très faible.
BM = 11 h 30 0,5 m } amplitude = 3,7 m
PM = 17 h 18 4,2 m }
Mi-marée descendante : 08 h 02
Mi-marée montante : 14 h 10

**STATION I** (Ilot)

Observateur : M. Menaché.

| Heure (TU+3) | Fond m | Profondeur m | S‰ | X% |
|---|---|---|---|---|
| 08.00 | 1,70 | 0 | 34,94 | 100 |
| (mm ↓) | | 0,50 | 34,72 | 99 |
| | | 1,00 | 34,82 | 100 |
| | | 1,50 | 34,88 | 100 |
| 09.00 | 0,80 | 0 | 34,82 | 100 |
| (BM-2) | | 0,20 | 34,84 | 100 |
| | | 0,40 | 34,90 | 100 |
| | | 0,60 | 34,88 | 100 |
| 10.00 | 0,30 | 0 | 34,96 | 100 (1) |
| (BM-1) | | 0,30 | 34,72 | 99 |
| 11.00 | 0,20 | 0 | 34,82 | 100 |
| (BM) | | 0,20 | 34,94 | 100 |
| 12.00 | 0,20 | 0 | 34,86 | 100 (2) |
| (BM+1) | | 0,20 | 34,73 | 99 |
| 13.00 | 0,90 | 0 | 34,62 | 99 (3) |
| (BM+2) | | 0,25 | 34,73 | 99 |
| | | 0,50 | 34,79 | 100 |
| | | 0,70 | 34,82 | 100 |
| 14.10 | 2,00 | 0 | 34,86 | 100 |
| (mm ↑) | | 0,60 | 34,84 | 100 |
| | | 1,20 | 34,80 | 100 |
| | | 1,80 | 34,82 | 100 |
| 15.10 | 2,80 | 0 | 34,80 | 100 |
| (PM-2) | | 0,80 | 34,79 | 100 |
| | | 1,70 | 34,84 | 100 |
| | | 2,60 | 34,84 | 100 |
| 16.15 | 3,30 | 0 | 34,85 | 100 |
| (PM-1) | | 1,00 | 34,79 | 100 |
| | | 2,00 | 34,82 | 100 |
| | | 3,10 | 34,81 | 100 |
| 17.18 | 3,50 | 0 | 34,90 | 100 |
| (PM) | | 1,00 | 34,86 | 100 |
| | | 2,50 | 34,80 | 100 |
| | | 3,30 | 34,85 | 100 |

(1) Fond découvert à la Station. Prélèvement en un point voisin du chenal.
(2) Prélèvement en un troisième point du chenal.
(3) Retour à l'emplacement de la Station I.

**STATION II** (Palétuviers)

Observateur : M. Jobilahy.

| Heure (TU+3) | Fond m | Profondeur m | S‰ | X% |
|---|---|---|---|---|
| — | — | — | — | — |
| 08.00 | 0,14 | 0 | 26,6 | 76 |
| (mm ↓) | | 0,14 | 26,9 | 77 |
| 09.00 | 0,06 | 0 | 27,8 | 80 |
| (BM-2) | | 0,06 | 28,2 | 80 |
| 10.00 | 0,07 | 0 | 29,1 | 83 (1) |
| (BM-1) | | 0,07 | 29,1 | 83 |
| 11.00 | 0,05 | 0 | 29,1 | 83 |
| (BM) | | 0,05 | 29,1 | 83 |
| 12.00 | 0,04 | 0 | 29,6 | 85 |
| (BM+1) | | 0,04 | 26,2 | 74 |
| 13.00 | 0,08 | 0 | 24,6 | 71 |
| (BM+2) | | 0,08 | 24,7 | 71 |
| 14.00 | 0,21 | 0 | 34,4 | 98 (2) |
| (mm ↑) | | 0,07 | 34,3 | 95 |
| | | 0,21 | 33,4 | 95 |
| 15.10 | 1,21 | 0 | 34,9 | 100 |
| (PM-2) | | 0,41 | 34,5 | 99 |
| | | 0,83 | 34,7 | 99 |
| | | 1,21 | 34,7 | 99 |
| 16.15 | 2,22 | 0 | 34,3 | 98 |
| (PM-1) | | 1,00 | 34,9 | 100 |
| | | 1,50 | 34,5 | 99 |
| | | 2,22 | 34,8 | 100 |
| 17.18 | 2,60 | 0 | 34,5 | 99 |
| (PM) | | 0,50 | 34,7 | 99 |
| | | 1,00 | 34,9 | 100 |
| | | 2,60 | 34,7 | 99 |

(1) Sol découvert à la Station. Prélèvement en un point voisin du chenal.
(2) Retour à l'emplacement de la Station II.

**STATION III** (Embouchure)

Observateur : M. Randriakoto.

| Heure (TU+3) | Fond m | Profondeur m | S‰ | X% |
|---|---|---|---|---|
| 08.00 | 0,70 | 0 | 23,7 | 68 |
| (mm ↓) | | 0,24 | 31,2 | 89 |
| | | 0,46 | 32,3 | 95 |
| | | 0,70 | 32,6 | 93 |
| 09.00 | 0,65 | 0 | 23,3 | 67 |
| (BM-2) | | 0,23 | 30,8 | 89 |
| | | 0,42 | 31,8 | 92 |
| | | 0,65 | 32,3 | 93 |
| 10.00 | 0,63 | 0 | 23,2 | 66 |
| (BM-1) | | 0,21 | 31,0 | 89 |
| | | 0,42 | 32,2 | 92 |
| | | 0,63 | 32,4 | 93 |
| 11.00 | 0,63 | 0 | 22,1 | 63 |
| (BM) | | 0,21 | 31,1 | 89 |
| | | 0,42 | 31,9 | 92 |
| | | 0,63 | 32,3 | 93 |
| 12.00 | 0,63 | 0 | 20,6 | 59 |
| (BM+1) | | 0,21 | 31,4 | 90 |
| | | 0,42 | 31,7 | 91 |
| | | 0,63 | 32,0 | 92 |
| 13.00 | 0,62 | 0 | 21,4 | 61 |
| (BM+2) | | 0,22 | 31,0 | 89 |
| | | 0,40 | 32,0 | 92 |
| | | 0,62 | 32,1 | 92 |
| 14.10 | 0,77 | 0 | 33,6 | 96 |
| (mm ↑) | | 0,26 | 32,4 | 93 |
| | | 0,51 | 32,3 | 93 |
| | | 0,77 | 33,1 | 94 |
| 15.10 | 1,75 | 0 | 33,8 | 100 |
| (PM-2) | | 0,59 | 34,8 | 100 |
| | | 1,16 | 34,9 | 100 |
| | | 1,75 | 34,8 | 100 |
| 16.15 | 2,40 | 0 | 35,2 | 100 |
| (PM-1) | | 0,80 | 35,2 | 100 |
| | | 1,60 | 35,2 | 100 |
| | | 2,40 | 35,2 | 100 |
| 17.18 | 2,62 | 0 | 35,2 | 100 |
| (PM) | | 0,88 | 35,2 | 100 |
| | | 1,74 | 35,1 | 100 |
| | | 2,62 | 35,2 | 100 |

**STATION** IV (Fosse du Parc à bœufs)

Observateur : M. Ranaivoarison.

| Heure (TU+3) | Fond m | Profondeur m | S‰ | X% |
|---|---|---|---|---|
| 08.00 | 3,80 | 0 | 21,3 | 61 |
| (mm ↓) | | 1,20 | 33,2 | 94 |
| | | 2,40 | 34,1 | 97 |
| | | 3,60 | 34,4 | 98 |
| 09.00 | 3,50 | 0 | 23,1 | 66 |
| (BM-2) | | 1,10 | 33,0 | 94 |
| | | 2,20 | 33,9 | 97 |
| | | 3,30 | 35,0 | 100 |
| 10.00 | 3,50 | 0 | 19,6 | 56 |
| (BM-1) | | 1,10 | 33,2 | 94 |
| | | 2,20 | 33,7 | 96 |
| | | 3,30 | 34,2 | 97 |
| 11.00 | 3,45 | 0 | 18,5 | 53 |
| (BM) | | 1,00 | 32,4 | 93 |
| | | 2,15 | 34,0 | 97 |
| | | 3,25 | 34,2 | 97 |
| 12.00 | 3,45 | 0 | 17,5 | 50 |
| (BM+1) | | 1,00 | 32,1 | 92 |
| | | 2,15 | 34,1 | 97 |
| | | 3,20 | 34,1 | 97 |
| 13.00 | 3,45 | 0 | 15,6 | 45 |
| (BM+2) | | 1,00 | 33,2 | 94 |
| | | 2,15 | 34,0 | 97 |
| | | 3,20 | 34,1 | 97 |
| 14.10 | 3,60 | 0 | 12,7 | 36 |
| (mm ↑) | | 1,00 | 32,2 | 92 |
| | | 2,20 | 33,7 | 96 |
| | | 3,40 | 34,8 | 100 |
| 15.00 | 4,30 | 0 | 29,9 | 86 |
| (PM-2) | | 1,40 | 34,0 | 97 |
| | | 2,75 | 34,3 | 98 |
| | | 4,10 | 34,5 | 99 |
| 16.15 | 5,20 | 0 | 35,1 | 100 |
| (PM-1) | | 1,80 | 35,2 | 100 |
| | | 3,45 | 35,2 | 100 |
| | | 4,90 | 35,2 | 100 |
| 17.18 | 5,20 | 0 | 35,1 | 100 |
| (PM) | | 1,70 | 35,1 | 100 |
| | | 3,35 | 35,2 | 100 |
| | | 5,00 | 35,2 | 100 |

**STATION** V (Milieu de la rivière)

Observateur : M. Razafindraibe.

| Heure (TU+3) | Fond m | Profondeur m | S‰ | X% |
|---|---|---|---|---|
| 08.00 (mm ↓) | 1,00 | 0 | 10,8 | 31 |
| | | 0,30 | 12,1 | 35 |
| | | 0,65 | 17,3 | 50 |
| | | 1,00 | 30,6 | 88 |
| 09.00 (BM-2) | 1,00 | 0 | 9,8 | 29 |
| | | 0,30 | 11,1 | 31 |
| | | 0,65 | 23,5 | 68 |
| | | 1,00 | 30,0 | 86 |
| 10.00 (BM-1) | 1,00 | 0 | 7,9 | 23 |
| | | 0,30 | 9,5 | 28 |
| | | 0,65 | 21,2 | 60 |
| | | 1,00 | 29,8 | 86 |
| 11.00 (BM) | 1,00 | 0 | 6,9 | 20 |
| | | 0,30 | 8,1 | 23 |
| | | 0,65 | 21,2 | 60 |
| | | 1,00 | 29,3 | 84 |
| 12.00 (BM+1) | 1,00 | 0 | 6,5 | 19 |
| | | 0,30 | 7,2 | 20 |
| | | 0,65 | 17,5 | 50 |
| | | 1,00 | 29,5 | 85 |
| 13.00 (BM+2) | 1,00 | 0 | 5,9 | 17 |
| | | 0,30 | 6,3 | 18 |
| | | 0,65 | 9,3 | 27 |
| | | 1,00 | 29,2 | 83 |
| 14.10 (mm ↑) | 1,00 | 0 | 5,1 | 14 |
| | | 0,30 | 5,5 | 16 |
| | | 0,65 | 10,7 | 28 |
| | | 1,00 | 30,3 | 87 |
| 15.10 (PM-2) | 1,70 | 0 | 21,2 | 60 |
| | | 0,60 | 23,7 | 68 |
| | | 1,15 | 25,0 | 72 |
| | | 1,70 | 25,7 | 73 |
| 16.10 (PM-1) | 2,40 | 0 | 31,8 | 92 |
| | | 0,80 | 33,8 | 97 |
| | | 1,60 | 33,3 | 95 |
| | | 2,40 | 33,4 | 95 |
| 17.18 (PM) | 2,55 | 0 | 18,1 | 51 |
| | | 0,85 | 33,8 | 97 |
| | | 1,70 | 34,2 | 98 |
| | | 2,55 | 34,5 | 99 |

**STATION** VI (Point d'accès à la rivière)

Observateur : M. Fiori.

| Heure (TU+3) | Fond m | Profondeur m | S‰ | X% |
|---|---|---|---|---|
| — | — | — | — | — |
| 07.00 | 0,25 | 0 | 1,5 | 5 |
| (PM+2) | | 0,25 | 1,7 | 5 |
| 08.00 | 0,25 | 0 | 1,1 | 3 |
| (mm ↓) | | 0,25 | 1,1 | 3 |
| 09.00 | 0,25 | 0 | 1,0 | 3 |
| (BM-2) | | 0,25 | 1,2 | 3 |
| 10.00 | 0,25 | 0 | 0,9 | 3 |
| (BM-1) | | 0,25 | 0,9 | 3 |
| 11.00 | 0,25 | 0 | 0,8 | 3 |
| (BM) | | 0,25 | 0,7 | 2 |
| 12.00 | 0,25 | 0 | 0,6 | 2 |
| (BM+1) | | 0,25 | 0,8 | 3 |
| 13.00 | 0,25 | 0 | 0,5 | 2 |
| (BM+2) | | 0,25 | 0,6 | 2 |
| 14.10 | 0,25 | 0 | 0,5 | 2 |
| (mm ↑) | | 0,25 | 0,4 | 1 |
| 15.10 | 0,25 | 0 | 0,4 | 1 |
| (PM-2) | | 0,25 | 0,4 | 1 |
| 16.15 | 1,10 | 0 | 7,4 | 21 |
| (PM-1) | | 0,36 | 14,7 | 42 |
| | | 0,72 | 17,8 | 51 |
| | | 1,10 | 17,7 | 50 |
| 17.18 | 1,25 | 0 | 1,8 | 6 |
| (PM) | | 0,43 | — | — |
| | | 0,85 | 24,1 | 69 |
| | | 1,25 | 24,6 | 71 |

TABLEAU V

Observations de la salinité de l'eau du fond à la Station VI en pleine mer de vive-eau

*9 juin.* — Observateur : M. Menaché

PM = 16 h 30 4,2 m

Hr = différence entre l'heure de l'observation et l'heure de la pleine mer.

| Heure (TU+3) | Hr | Profondeur m | S‰ | X% |
|---|---|---|---|---|
| — | — | — | — | — |
| 15.35 | PM-1 | 1,00 | 18,3 | 52 |
| 16.05 | PM-1/2 | 1,30 | 22,0 | 63 |
| 16.35 | PM | 1,30 | 24,1 | 69 |
| 17.05 | PM+1/2 | 1,30 | 25,4 | 73 |
| 17.39 | PM+1 | 1,00 | 25,2 | 72 |

Des observations analogues ont été effectuées aux mêmes heures à la Station VII (pont routier). Salinité toujours nulle.

## Tableau VI

### Résultats numériques des observations hydrologiques

PM = instant de pleine-mer

BM = » » basse-mer

mm ↑ = mi-marée montante

mm ↓ = » » descendante

Hr = décalage de temps, exprimé en heure et dixième d'heure, entre l'instant où a lieu une observation et celui auquel cette observation se trouve rapportée (PM, BM, mi-marée).

$\theta$ = température de l'échantillon en degré Celsius. Précision : ± 0,1° C

S = salinité ‰ de l'échantillon. Précision : ± 0,1 ‰

X = pourcentage d'eau de mer de l'échantillon : X = 2,86 S. Précision : ± 1 %

$\sigma_t$ = expression simplifiée de la densité de l'échantillon, définie par la formule :

$\sigma_t = (d^4_\theta - 1)\ 1.000$

$d_\theta{}^4$ étant la densité de l'échantillon à $\theta$ ° C par rapport à l'eau distillée à 4° C. Précision : ± 0,1

$O_2{}^{ml}$ = nombre de ml d'oxygène dissous TPN (aux température et pression normales, 0° C, 760 mm Hg), contenu dans 1 litre de l'échantillon à la température $\theta$. Précision : ± 0,01 ml

$O_2$ % = pourcentage de saturation = rapport multiplié par 100 du nombre de ml d'oxygène contenu dans 1 litre de l'échantillon aux conditions *in situ*, au coefficient de saturation *s* de l'échantillon :

$$O_2\ \% = O_2\ ml \times \frac{100}{s}$$

Précision : ± 1 %

**Morte-eau. Pleine mer**

6 avril — Beau, peu nuageux
Amplitude moyenne : 0,9 m

BM : 07 h 15 1,7 m } 0,9 m
PM : 13 h 32 2,6 » } 0,9 »
BM : 19 h 39 1,7 » }

| Heure (TU + 3) | Hr | Station N° | Position | Fond m | Profond. m | $\theta$ ° C | S ‰ | X % | $\sigma_t$ | $O_2$ ml | $O_2$ % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12,25 | + 1,1 | 1 | Pont | 1,00 | 0 | 28,4 | 0,0 | 0 | — 3,7 | 5,27 | 92 |
| | | | | | 0,35 | 28,2 | 0,1 | 0 | — 3,6 | 5,48 | 95 |
| | | | | | 0,70 | 28,1 | 0,0 | 0 | — 3,7 | 5,27 | 92 |
| | | | | | 1,00 | 28,1 | 0,2 | 0 | — 3,5 | 5,19 | 90 |
| 12,50 | — 0,8 | 2 | Point d'accès | 0,60 | 0 | 28,8 | 0,1 | 0 | — 3,9 | 5,44 | 96 |
| | | | | | 0,30 | 28,5 | 0,0 | 0 | — 3,9 | 5,29 | 93 |
| | | | | | 0,60 | 28,6 | 0,2 | 0 | — 3,7 | 5,42 | 95 |
| 13,05 | — 0,4 | 3 | | 1,00 | 0 | 29,1 | 0,0 | 0 | — 4,0 | 5,50 | 97 |
| | | | | | 0,35 | 28,8 | 0,0 | 0 | — 4,0 | 5,40 | 95 |
| | | | | | 0,70 | 28,8 | 0,2 | 0 | — 3,8 | 5,33 | 94 |
| | | | | | 1,00 | 28,9 | 0,0 | 0 | — 4,0 | 5,12 | 91 |
| 13,25 | — 0,1 | 4 | | 1,50 | 0 | 29,1 | 0,2 | 0 | — 3,8 | 4,56 | 81 |
| | | | | | 0,50 | 28,65 | 0,3 | 1 | — 3,7 | 5,06 | 89 |
| | | | | | 1,00 | 28,5 | 0,5 | 2 | — 3,5 | 5,12 | 90 |
| | | | | | 1,50 | 28,1 | 15,6 | 47 | 8,0 | 3,67 | 70 |
| 13,40 | + 0,2 | 5 | Parc à bœufs | 4,00 | 0 | 29,0 | 0,6 | 2 | — 3,5 | 5,12 | 91 |
| | | | | | 1,00 | 30,9 | 22,2 | 63 | 12,0 | 4,10 | 85 |
| | | | | | 2,50 | 29,6 | 23,3 | 67 | 13,1 | 3,19 | 65 |
| 14,00 | + 0,5 | 6 | Embouchure | 0,90 | 4,00 | 28,6 | 23,9 | 69 | 13,9 | 2,21 | 45 |
| | | | | | 0 | 29,3 | 1,4 | 4 | — 3,1 | 6,26 | 112 |
| | | | | | 0,30 | 29,4 | 4,9 | 14 | — 0,5 | 5,08 | 93 |
| | | | | | 0,60 | 32,3 | 23,3 | 67 | 12,3 | 5,00 | 108 |
| | | | | | 0,90 | 31,9 | 25,1 | 72 | 13,7 | 4,52 | 98 |
| 14,15 | + 0,8 | 7 | Palétuviers | 1,00 | 0 | 32,0 | 14,7 | 42 | 6,1 | 4,70 | 95 |
| | | | | | 0,30 | 32,7 | 24,6 | 71 | 13,3 | 5,19 | 114 |
| | | | | | 0,60 | 32,6 | 29,6 | 85 | 17,1 | 3,93 | 89 |
| | | | | | 1,00 | 31,2 | 29,5 | 85 | 17,4 | 3,78 | 83 |
| 14,44 | + 1,2 | 8 | Ilot | 4,50 | 0 | 30,3 | 29,8 | 86 | 17,7 | 4,28 | 92 |
| | | | | | 1,50 | 30,1 | 30,0 | 86 | 18,0 | 4,60 | 99 |
| | | | | | 3,00 | 28,8 | 30,4 | 87 | 18,6 | 4,62 | 97 |
| | | | | | 4,50 | 28,75 | 31,3 | 90 | 19,4 | 3,40 | 72 |

**Morte-eau. Mi-marée descendante**

18 avril — Beau, peu nuageux
Amplitude : 1,6 m

PM : 09 h 32 3,0 m
BM : 15 h 48 1,4 »
} 1,6 m
mm ↓ : 12 h 40

| Heure TU + 3 | Hr | Station N° | Position | Fond m | Profond. m | θ °C | S ‰ | X % | $\sigma_t$ | $O_2$ ml | $O_2$ % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 11.45 | —0,9 | 1 | Pont | 0,50 | 0 | 26,5 | 0,2 | 0 | —3,4 | 3,85 | 65 |
| | | | | | 0,50 | 26,6 | 0,6 | 2 | —3,4 | 3,05 | 52 |
| 12,00 | —0,7 | 2 | Point d'accès | 1,00 | 0 | 26,9 | 0,0 | 0 | —3,5 | 3,41 | 58 |
| | | | | | 0,50 | 26,7 | 0,0 | 0 | —3,4 | 4,27 | 73 |
| | | | | | 0,75 | 26,8 | 0,1 | 0 | —3,5 | 3,44 | 59 |
| | | | | | 1,00 | 26,9 | 0,1 | 0 | —3,5 | 3,89 | 67 |
| 12,15 | —0,4 | 3 | | 0,75 | 0 | 27,0 | 0,2 | 0 | —3,3 | 3,72 | 64 |
| | | | | | 0,25 | 26,9 | 0,2 | 0 | —3,3 | 3,93 | 67 |
| | | | | | 0,50 | 26,9 | 0,2 | 0 | —3,3 | 3,40 | 58 |
| | | | | | 0,75 | 27,0 | 0,3 | 1 | —3,3 | 2,93 | 50 |
| 12,40 | 0,0 | 4 | | 0,80 | 0 | 27,4 | 0,1 | 0 | —3,6 | 3,74 | 64 |
| | | | | | 0,30 | 27,0 | 0,1 | 0 | —3,5 | 3,74 | 64 |
| | | | | | 0,60 | 26,95 | 0,1 | 0 | —3,5 | 3,23 | 55 |
| | | | | | 0,80 | 27,0 | 0,1 | 0 | —3,4 | 3,23 | 55 |
| 12,52 | + 0,1 | 5 | Parc à bœufs | 3,00 | 0 | 28,5 | 0,9 | 0 | —3,3 | 3,80 | 67 |
| | | | | | 1,00 | 28,2 | 10,1 | 29 | 3,9 | 3,33 | 61 |
| | | | | | 2,00 | 29,5 | 27,5 | 79 | 16,4 | 4,40 | 92 |
| | | | | | 3,00 | 29,55 | 27,9 | 80 | 16,6 | 1,53 | 32 |
| 13,10 | + 0,5 | 6 | Embouchure | 1,00 | 0 | 28,1 | 1,3 | 4 | —2,8 | 4,05 | 71 |
| | | | | | 0,35 | 27,85 | 2,4 | 7 | —1,9 | 3,91 | 69 |
| | | | | | 0,70 | 28,4 | 8,7 | 25 | 2,8 | 1,63 | 30 |
| | | | | | 1,00 | 29,55 | 24,4 | 70 | 14,0 | 2,55 | 52 |
| 13,35 | + 0,9 | 7 | Palétuviers | 0,30 | 0 | 28,4 | 2,7 | 8 | —1,7 | 4,25 | 75 |
| | | | | | 0,30 | 28,4 | 2,7 | 8 | —1,7 | 4,07 | 72 |
| 13.55 | + 1,2 | 8 | Ilot | 4,10 | 0 | 30,3 | 32,2 | 92 | 19,6 | 4,60 | 101 |
| | | | | | 1,00 | 30,2 | 32,5 | 93 | 19.9 | 4,62 | 101 |
| | | | | | 2,00 | 29,75 | 32,9 | 94 | 20,4 | 4,35 | 95 |
| | | | | | 3,00 | 29,6 | 33,2 | 94 | 20,6 | 3,84 | 83 |
| | | | | | 4,10 | 29,5 | 33,2 | 94 | 20,6 | 4,21 | 91 |

**Morte-eau. Basse mer**

18 avril — Beau temps, peu nuageux
Amplitude moyenne : 1,6 m

PM : 09 h 32 3,0 m } 1,6 m
BM : 15 h 48 1,4 » }
PM : 22 h 10 3,1 » } 1,7 »

| Heure (TU + 3) | Hr | Station N° | Position | Fond m | Profond. m | $\theta$ °C | S ‰ | X % | $\sigma_t$ | $O_2$ ml | $O_2$ % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14.30 | — 1,5 | 1 | Ilot | 1,40 | 0 | 30,4 | 32,5 | 93 | 19,8 | 5,15 | 113 |
| | | | | | 0,50 | 30,25 | 32,7 | 93 | 20,0 | 3,89 | 85 |
| | | | | | 1,00 | 30,0 | 32,8 | 94 | 20,1 | 5,33 | 117 |
| | | | | | 1,40 | 30,0 | 32,9 | 94 | 20,2 | 5,35 | 117 |
| 15.00 | — 0,8 | 2 | Palétuviers | 0,10 | 0 | 29,15 | 3,4 | 10 | — 1,5 | 4,37 | 79 |
| | | | | | 0.10 | 29,3 | 3,8 | 11 | — 1,3 | — | — |
| 15.20 | — 0,5 | 3 | Embouchure | 0,80 | 0 | 28,25 | 1,2 | 3 | — 2,8 | 3,91 | 70 |
| | | | | | 0,25 | 28,2 | 1,1 | 3 | — 2,9 | 3,97 | 70 |
| | | | | | 0,50 | 28,1 | 2,7 | 8 | — 1,6 | 3,91 | 69 |
| | | | | | 0,80 | 29,2 | 20,9 | 60 | 11,5 | 0,51 | 10 |
| 15.40 | — 0,1 | 4 | Parc à bœufs | 1,80 | 0 | 28,3 | 0,9 | 3 | — 3,2 | 3,99 | 70 |
| | | | | | 0,60 | 28,2 | 1,0 | 3 | — 3,0 | 3,97 | 71 |
| | | | | | 1,20 | 29,3 | 23,8 | 69 | 13,6 | 3,03 | 62 |
| | | | | | 1,80 | 29,5 | 27,7 | 79 | 16,5 | 2,14 | 46 |
| 15.55 | + 0,1 | 5 | | 0,30 | 0 | 28,3 | 0,3 | 1 | — 3,6 | 3,89 | 68 |
| | | | | | 0,30 | 28,3 | 0,7 | 2 | — 3,2 | 4,21 | 74 |

**Morte-eau. Mi-marée montante**

7 mars — Beau temps, nuageux
Amplitude : 0,5 m

BM : 07 h 09 1,9 m
PM : 13 h 15 2,4 »
} 0.5 m
mm ↑ : 10 h 14

| Heure (TU + 3) | Hr | Station N° | Position | Fond m | Profond. m | $\theta$ °C | S ‰ | X % | $\sigma_t$ | $O_2$ ml | $O_2$ % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 09,15 | — 1,0 | 1 | Pont | 0,30 | 0 | 27,1 | 0,2 | 0 | — 3,3 | 5,39 | 92 |
| | | | | | 0,30 | 26,8 | < 0,1 | 0 | — 3,5 | 4,69 | 80 |
| 09,45 | — 0,5 | 2 | | 1,25 | 0 | 27,4 | 0,2 | 0 | — 3,4 | 5,05 | 87 |
| | | | | | 0,50 | 27,2 | 0,2 | 0 | — 3,3 | 4,95 | 85 |
| | | | | | 1,00 | 27,3 | < 0,1 | 0 | — 3,6 | 5,11 | 87 |
| | | | | | 1,25 | 27,0 | 0,2 | 0 | — 3,3 | 4,02 | 69 |
| 10,20 | + 0,1 | 3 | | 0,80 | 0 | 28,1 | 0,4 | 1 | — 3,4 | 5,23 | 91 |
| | | | | | 0,25 | 27,8 | 0,5 | 2 | — 3,2 | 4,36 | 76 |
| | | | | | 0,50 | 27,8 | 0,6 | 2 | — 3,1 | 4,63 | 81 |
| | | | | | 0,80 | 27,75 | 0,6 | 2 | — 3,1 | 4,40 | 77 |
| 10,40 | + 0,5 | 4 | | 1,10 | 0 | 28,4 | 0,9 | 3 | — 3,0 | 4,99 | 87 |
| | | | | | 0,40 | 28,3 | 1,0 | 3 | — 2,9 | 4,34 | 76 |
| | | | | | 0,80 | 28,8 | 18,7 | 53 | 10,0 | 2,64 | 52 |
| | | | | | 1,10 | 29,2 | 19,5 | 56 | 10,5 | 1,83 | 37 |
| 11,15 | + 1,0 | 5 | Embou-chure | 0,30 | 0 | 29,7 | 1,7 | 5 | — 2,9 | 4,67 | 84 |
| | | | | | 0,30 | 29,7 | 2,0 | 6 | — 2,7 | 4,48 | 81 |

**Vive-eau. Pleine mer**

11 mai — Beau temps, très peu nuageux
Amplitude moyenne : 3,9 m

BM : 10 h 32 0,5 m } 3,8 m
PM : 16 h 46 4,3 » }
BM : 23 h 07 0,3 » } 4,0 »

| Heure (TU + 3) | Hr | Station N° | Position | Fond m | Profond. m | $\theta$ °C | S ‰ | X % | $\sigma_t$ | $O_2$ ml | $O_2$ % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15,20 | — 1,5 | 1 | Palétuviers | 1,80 | 0 | 29,6 | 33,6 | 95 | 20,9 | 4,86 | 106 |
| | | | | | 0,60 | 29,5 | 33,7 | 96 | 20,9 | 4,86 | 106 |
| | | | | | 1,20 | 29,55 | 33,8 | 96 | 21,0 | 4,68 | 104 |
| | | | | | 1,80 | 29,6 | 34,5 | 99 | 21,5 | 4,55 | 99 |
| 15,50 | — 1,0 | 2 | Embouchure | 2,00 | 0 | 29,9 | 33,3 | 95 | 20,5 | 4,78 | 105 |
| | | | | | 0,60 | 29,9 | 33,4 | 95 | 20,6 | 4,77 | 105 |
| | | | | | 1,30 | 29,9 | 34,0 | 97 | 21,0 | 4,93 | 109 |
| | | | | | 2,00 | 29,9 | 34,2 | 98 | 21,2 | 4,72 | 104 |
| 16,15 | — 0,5 | 3 | Parc à bœufs | 5,80 | 0 | 29,8 | 33,3 | 95 | 20,5 | 4,69 | 103 |
| | | | | | 1,50 | 29,9 | 33,6 | 96 | 20,8 | 4,84 | 106 |
| | | | | | 3,00 | 29,9 | 33,8 | 96 | 20,8 | 4,64 | 102 |
| | | | | | 5,00 | 29,9 | 34,1 | 97 | 21,1 | 4,70 | 104 |
| | | | | | 5,80 | 30,0 | 34,1 | 97 | 21,1 | 1,00 | 22 |
| 16,45 | 0,0 | 4 | | 2,60 | 0 | 31,15 | 32,2 | 92 | 19,4 | 3,98 | 89 |
| | | | | | 0,80 | 30,6 | 32,5 | 93 | 19,7 | 4,57 | 101 |
| | | | | | 1,70 | 30,55 | 33,3 | 95 | 20,3 | 4,82 | 107 |
| | | | | | 2,60 | 30,4 | 33,4 | 95 | 20,5 | 4,65 | 103 |
| 17,07 | + 0,5 | 5 | | 1,30 | 0 | 28,5 | 4,8 | 13 | — 0,3 | 6,12 | 110 |
| | | | | | 0,40 | 29,5 | 12,5 | 36 | 5,2 | 5,58 | 106 |
| | | | | | 0,80 | 31,1 | 29,9 | 86 | 17,6 | 4,17 | 91 |
| | | | | | 1,30 | 31,0 | 30,2 | 86 | 17,9 | 4,21 | 92 |
| 17,30 | + 0,7 | 6 | Point d'accès | 1,20 | 0 | 28,0 | 0,2 | 0 | — 3,5 | 5,80 | 101 |
| | | | | | 0,40 | 28,3 | 0,6 | 2 | — 3,1 | 5,98 | 105 |
| | | | | | 0,80 | 29,8 | 19,0 | 54 | 9,8 | 4,53 | 90 |
| | | | | | 1,20 | 29,8 | 20,1 | 57 | 10,7 | 4,22 | 85 |

**Vive-eau. Mi-marée descendante** PM : 05 h 25 3,9 m } 3,5 m
BM : 11 h 28 0,4 » }
13 avril — Temps variable
Amplitude : 3,5m mm ↓ : 05 h 28

| Heure (TU + 3) | Hr | Station N° | Position | Fond m | Profond. m | $\theta$ °C | S ‰ | X % | $\sigma_t$ | $O_2$ ml | $O_2$ % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 07,25 | — 1,0 | 1 | 20 m à l'aval du pont | 0,50 | 0 | 25,6 | 0,0 | 0 | — 3,1 | 5,95 | 99 |
| | | | | | 0,25 | 25,6 | 0,0 | 0 | — 3,1 | 5,78 | 97 |
| | | | | | 0,50 | 25,6 | 0,0 | 0 | — 3,1 | 5,76 | 97 |
| 07,40 | — 0,8 | 2 | Point d'accès | 0,60 | 0 | 25,85 | 0,0 | 0 | — 3,2 | 5,84 | 98 |
| | | | | | 0,30 | 25,75 | 0,0 | 0 | — 3,2 | 5,09 | 85 |
| | | | | | 0,60 | 25,7 | 0,0 | 0 | — 3,1 | 5,36 | 90 |
| 07,55 | — 0,6 | 3 | | 0,80 | 0 | 26,1 | 0,6 | 2 | — 2,8 | 5,21 | 86 |
| | | | | | 0,25 | 26,0 | 0,6 | 2 | — 2,8 | 4,72 | 79 |
| | | | | | 0,50 | 26,0 | 0,6 | 2 | — 2,8 | 5,24 | 86 |
| | | | | | 0,80 | 26,1 | 0,8 | 2 | — 2,6 | 5,64 | 95 |
| 08,20 | — 0,1 | 4 | | 1,00 | 0 | 26,55 | 2,2 | 6 | — 1,7 | 4,68 | 81 |
| | | | | | 0,25 | 26,5 | 2,4 | 7 | — 1,5 | 4,95 | 85 |
| | | | | | 0,50 | 26,5 | 2,5 | 8 | — 1,4 | 5,21 | 90 |
| | | | | | 0,75 | 26,45 | 2,5 | 8 | — 1,4 | 4,69 | 85 |
| | | | | | 1,00 | 26,45 | 2,7 | 8 | — 1,2 | 4,81 | 83 |
| 08,40 | + 0,2 | 5 | Parc à bœufs | 2,60 | 0 | 27,1 | 6,7 | 19 | 1,7 | 3,80 | 68 |
| | | | | | 0,75 | 27,9 | 27,7 | 79 | 17,0 | 2,94 | 60 |
| | | | | | 1,50 | 27,9 | 29,1 | 83 | 18,0 | 2,64 | 54 |
| | | | | | 2,60 | 27,95 | 30,0 | 86 | 18,7 | 0,81 | 24 |
| 09,00 | + 0,5 | 6 | Embouchure | 1,80 | 0 | 27,35 | 7,8 | 23 | 2,3 | 3,36 | 60 |
| | | | | | 0,60 | 28,05 | 26,7 | 76 | 16,3 | 1,88 | 38 |
| | | | | | 1,20 | 28,2 | 28,9 | 83 | 17,8 | 1,96 | 40 |
| | | | | | 1,80 | 28,2 | 29,3 | 84 | 18,1 | 0,07 | 1 |
| 09,15 | + 0,8 | 7 | Palétuviers | 0,25 | 0 | 28,3 | 11,8 | 34 | 5,0 | 3,64 | 68 |
| | | | | | 0,25 | 28,2 | 11,6 | 33 | 5,0 | 3,13 | 59 |
| 09,40 | + 1,2 | 8 | Ilot | 0,75 | 0 | 29,6 | 28,3 | 81 | 16,9 | 3,61 | 76 |
| | | | | | 0,25 | 29,5 | 28,3 | 81 | 16,9 | 3,82 | 81 |
| | | | | | 0,50 | 29,3 | 28,7 | 82 | 17,4 | 3,67 | 77 |
| | | | | | 0,75 | 29,1 | 29,6 | 85 | 18,1 | 2,98 | 63 |

**Vive-eau. Basse mer**

11 mai — Beau temps, très peu nuageux
Amplitude moyenne : 3,6 m

PM : 04 h 31 3,8 m } 3,3 m
BM : 10 h 32 0,5 » }
PM : 16 h 46 4,3 » } 3,8 »

| Heure (TU + 3) | Hr | Station N° | Position | Fond m | Profond. m | $\theta$ ° C | S ‰ | X % | $\sigma_t$ | $O_2$ ml | $O_2$ % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 09,35 | — 0,9 | 1 | Ilot | 0,30 | 0 | 27,1 | 32,1 | 92 | 20,6 | 4,31 | 89 |
| | | | | | 0,15 | 27,0 | 32,3 | 93 | 20,7 | 4,23 | 87 |
| | | | | | 0,30 | 27,1 | 32,7 | 93 | 21,1 | 4,25 | 88 |
| 09,45 | — 0,7 | 2 | | 0,20 | 0 | 30,15 | 24,6 | 71 | 14,0 | 4,05 | 85 |
| | | | | | 0,20 | 30,1 | 24,5 | 71 | 13,9 | 3,70 | 77 |
| 10,00 | — 0,5 | 3 | | 0,25 | 0 | 29,3 | 19,6 | 56 | 9,7 | 4,31 | 86 |
| | | | | | 0,25 | 29,25 | 20,1 | 57 | 10,9 | 3,50 | 70 |
| 10,12 | — 0,2 | 4 | Palétu-viers | 0,20 | 0 | 28,6 | 17,5 | 50 | 9,2 | 4,07 | 79 |
| | | | | | 0,20 | 28,45 | 17,7 | 50 | 9,5 | 3,84 | 75 |
| 10,25 | — 0,1 | 5 | Embou-chure | 1,10 | 0 | 27,45 | 11,3 | 32 | 4,9 | 4,21 | 77 |
| | | | | | 0,40 | 28,6 | 27,5 | 79 | 16,6 | 2,58 | 53 |
| | | | | | 0,80 | 28,3 | 29,8 | 85 | 18,4 | 1,67 | 35 |
| | | | | | 1,10 | 27,9 | 30,6 | 88 | 19,2 | 2,88 | 60 |
| 10,35 | + 0,1 | 6 | Parc à bœufs | 3,50 | 0 | 27,55 | 6,5 | 19 | 1,3 | 4,84 | 87 |
| | | | | | 1,00 | 27,6 | 30,7 | 88 | 19,4 | 2,76 | 57 |
| | | | | | 2,00 | 27,2 | 32,0 | 92 | 20,5 | 2,14 | 44 |
| | | | | | 3,00 | 27,2 | 32,1 | 92 | 20,6 | 2,20 | 46 |
| | | | | | 3,50 | 27,2 | 32,2 | 92 | 20,7 | 0,94 | 20 |
| 10,55 | + 0,4 | 7 | | 0,20 | 0 | 27,52 | 3,5 | 10 | — 0,9 | 5,72 | 101 |
| | | | | | 0,20 | 27,55 | 4,7 | 13 | 0,0 | 5,33 | 95 |

**Vive-eau. Mi-marée montante**

12 avril — Beau temps, peu nuageux
Amplitude : 3,9 m

BM : 10 h 53 0,4 m
PM : 17 h 05 4,3 »
} 3,9 m
mm ↑ : 14 h 00

| Heure (TU + 3) | Hr | Station N° | Position | Fond m | Profond. m | θ °C | S ‰ | X % | $\sigma_t$ | $O_2$ ml | $O_2$ % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12,45 | — 1,2 | 1 | Palétuviers | 0,30 | 0 | 30,35 | 5,2 | 14 | — 0,5 | 5,05 | 94 |
| | | | | | 0,30 | 30,3 | 5,2 | 14 | — 0,5 | 4,97 | 92 |
| 13,00 | - 1,0 | 2 | Embouchure | 0,80 | 0 | 29,7 | 2,2 | 6 | — 2,5 | 6,16 | 113 |
| | | | | | 0,25 | 29,5 | 2,7 | 8 | — 2,1 | 5,69 | 103 |
| | | | | | 0,50 | 30,1 | 22,0 | 63 | 12,1 | 2,98 | 61 |
| | | | | | 0,80 | 30,0 | 26,6 | 76 | 15,5 | 2,05 | 43 |
| 13,15 | — 0,7 | 3 | Parc à bœufs | 1,50 | 0 | 29,7 | 1,7 | 5 | — 2,9 | 6,36 | 115 |
| | | | | | 0,50 | 29,6 | 7,9 | 23 | 1,7 | 5,29 | 99 |
| | | | | | 1,00 | 29,1 | 26,7 | 76 | 16,0 | 3,04 | 63 |
| | | | | | 1,50 | 29,2 | 27,5 | 79 | 16,5 | 1,87 | 39 |
| 13,35 | — 0,4 | 4 | | 0,60 | 0 | 29,8 | 0,8 | 3 | — 3,6 | 6,24 | 112 |
| | | | | | 0,20 | 29,7 | 0,8 | 3 | — 3,6 | 6,12 | 110 |
| | | | | | 0,40 | 29,6 | 0,9 | 3 | — 3,5 | 6,12 | 110 |
| | | | | | 0,60 | 29,6 | 1,0 | 3 | — 3,5 | 6,0 | 108 |
| 13,58 | 0,0 | 5 | | 1,60 | 0 | 30,0 | 0,6 | 2 | — 3,8 | 6,44 | 116 |
| | | | | | 0,50 | 30,0 | 0,6 | 2 | — 3,8 | 6,49 | 117 |
| | | | | | 1,00 | 29,8 | 0,3 | 1 | — 4,1 | 5,81 | 104 |
| | | | | | 1,60 | 29,8 | 0,4 | 1 | — 4,1 | 6,34 | 114 |
| 14,25 | + 0,4 | 6 | | 1,10 | 0 | | 0,0 | 0 | | 6,14 | 110 (*) |
| | | | | | 0,40 | | 0,0 | 0 | | 5,86 | 105 |
| | | | | | 0,80 | | 0,3 | 1 | | 5,88 | 106 |
| | | | | | 1,10 | | 0,0 | 0 | | 5,64 | 101 |
| 14,50 | + 0,8 | 7 | Pont | 0,40 | 0 | | 0,2 | 0 | | 5,94 | 107 |
| | | | | | 0,20 | | 0,0 | 0 | | 3,96 | 71 |
| | | | | | 0,40 | | 0,0 | 0 | | 5,83 | 105 |

(*) Thermomètre cassé. Pour les Stations 6 et 7, on a pris $\theta = 30{,}0°$ C pour le calcul de $0_2$ %.

## CONCLUSIONS

L'étude à laquelle nous venons de procéder avait pour objet principal de dégager les grandes lignes du phénomène de la pénétration de la marée dans un estuaire de la Côte Nord-Ouest de Madagascar et des modalités du mélange des eaux douce et salée en fonction de la marée. Faite en période de crue, elle gagnerait à être reprise en saison d'étiage.

Certains des renseignements qui s'en dégagent présentent un intérêt général. Le déphasage entre la marée purement dynamique et celle que nous avons dénommée « haline ». et qui représente le mouvement de la masse d'eau salée, mériterait d'être précisé par des observations faites à intervalles de temps serrés, couvrant au moins un cycle complet de la marée.

Le phénomène de réduction organique au fond de la dépression à la Station IV est également intéressant à signaler. De telles dépressions sont fréquentes dans les estuaires à marée. L'action directe de la mer ne s'y fait sentir qu'en pleine mer et n'est totale qu'en vive-eau. La richesse en oxygène dissous semble ici essentiellement fonction du mouvement. La réduction organique est particulièrement rapide dès que le mouvement s'arrête. Au fond de la cuvette étudiée, l'eau saturée d'oxygène en pleine mer de vive-eau, en est pratiquement dépourvue à la mi-marée suivante, à peine deux heures après son isolement du large. Ce phénomène de réduction organique revêt une grande importance biologique et devrait être examiné dans toute étude hydrologique d'estuaire à marée. Il met en outre l'accent sur l'importance dans de telles recherches des observations d'oxygène dissous qui devraient toujours être faites conjointement aux observations classiques de salinité et de température.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Alexander (W. B.), Southgate (B. A.), Bassindale (R.), 1935. — Survey of the river Tees. Part. II. The estuary. Chemical and Biological Dept. Sc. Ind. Res., Water Pollution Res., Technical Paper n° 5. H.M. Stationnery Office, London.

2. Dussart (B.), Francis-Boeuf (C.), 1949. — Technique du dosage de l'oxygène dissous dans l'eau basée sur la méthode de Winkler. — Circ. du C.R.E.O., I.T. n° 1, p. 8.

3. Fox (C.J.J.), 1907. — On the coefficients of absorption of the atmosphere gases in distilled water and sea water. — Cons. Perm. Intern. Explor. Mer, Public. de Circonstance, n° 41, p. 27.

4. Fox (H. M.), Wingfield (C. A.), 1938. — A portable apparatus for the determination of oxygen dissolved in a small volume of water. — *J. Experim. Biol.*, XV, 3, pp. 437-445.

5. Francis-Bœuf (C.), 1947. — Recherches sur le milieu fluvio-marin et les dépôts d'estuaire. — *Ann. Inst. Oceanogr.*, XXIII pp. 149-344.

6. Knudsen (M.), 1901. — Hydrographical tables. — Copenhague.

7. Krogh (A.), 1935. — Syringe Pipets. — *J. Ind. Eng. Chem.*, Anal. Ed., VII, 2, pp. 130-131.

8. Krogh (A.), 1935. — Precise determination of oxygen in water by Syringe Pipets. — *J. Ind. Eng. chem.*, Anal. Ed. VII, 2, pp. 131-133.

9. Thompson (Th. G.), Cleve (R. van), 1930. — Determination of the Chlorinity of ocean waters. — *Rep. Int. Fish. Comm.*, Vancouver, n° 3, p. 10, table I.

10. Varlet (F.) et Menaché (M.), 1947. — L'estuaire du Moros à Concarneau (Finistère). Etude du mélange des eaux douces et salées. — *Bull. Inst. Océanogr.*, n° 917.

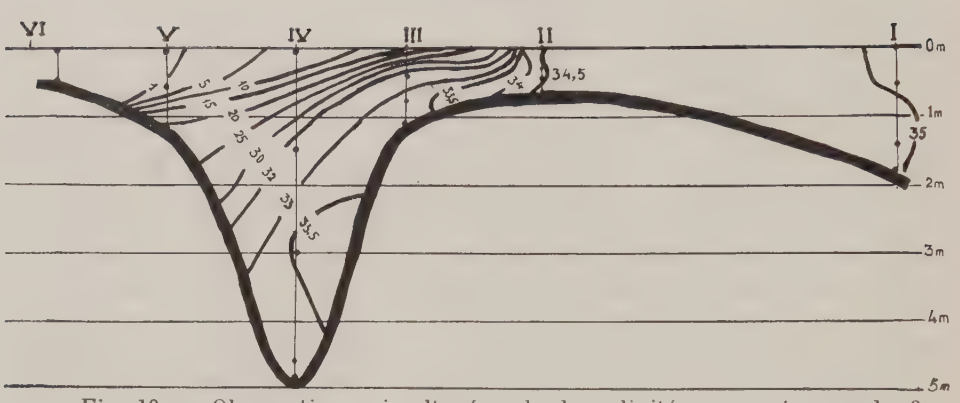



Fig. 10. — Observations simultanées de la salinité en morte-eau, le 3 juin. Coupe des isohalines 2 heures avant la pleine-mer (PM-2).

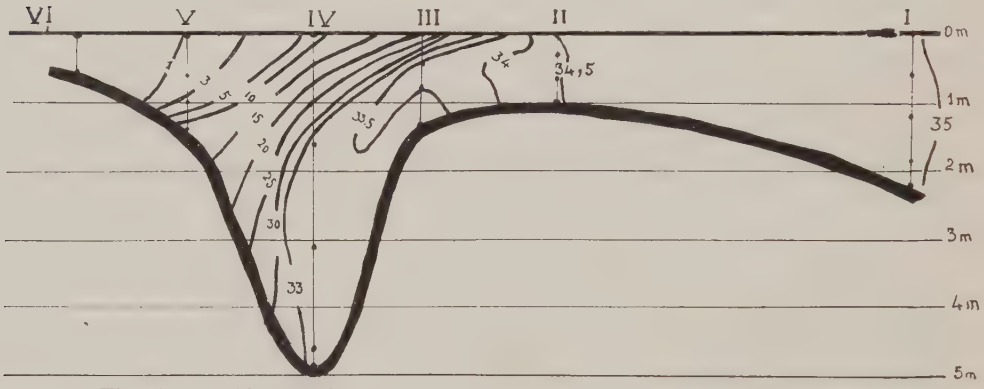



Fig. 11. — Observations simultanées de la salinité en morte-eau, le 3 juin. Coupe des isohalines 1 heure avant la pleine-mer (PM-1).

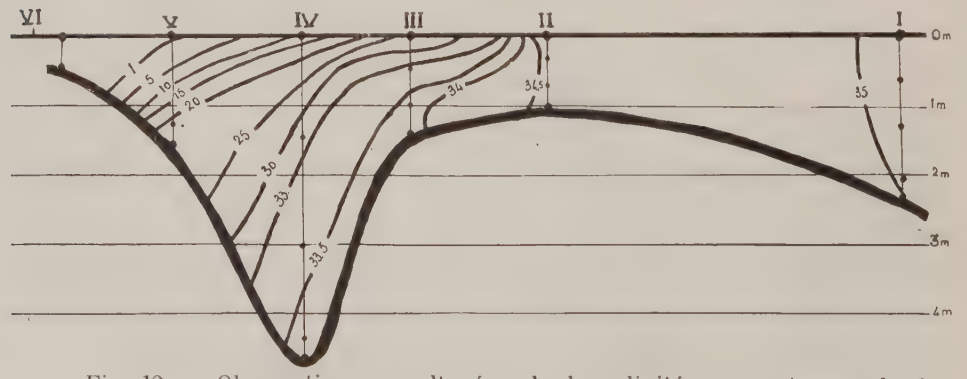



Fig. 12. — Observations simultanées de la salinité en morte-eau, le 3 juin. Coupe des isohalines à l'instant de la pleine-mer (PM).

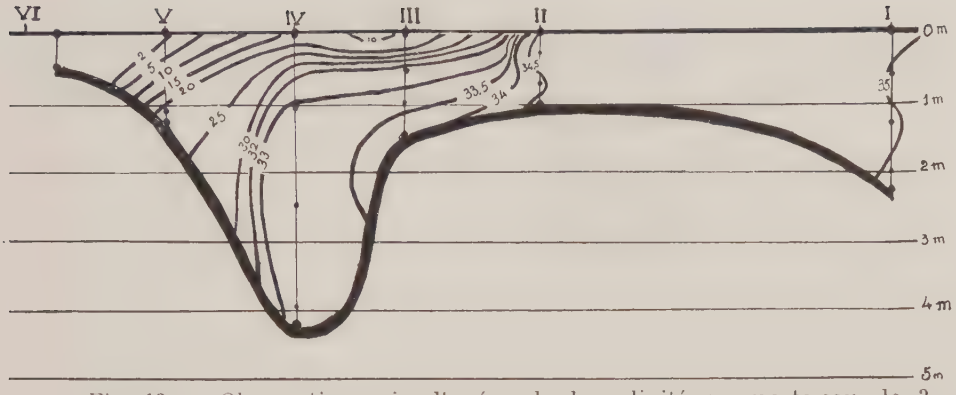



Fig. 13. — Observations simultanées de la salinité en morte-eau, le 3 juin. Coupe des isohalines 1 heure après la pleine-mer (PM+1).

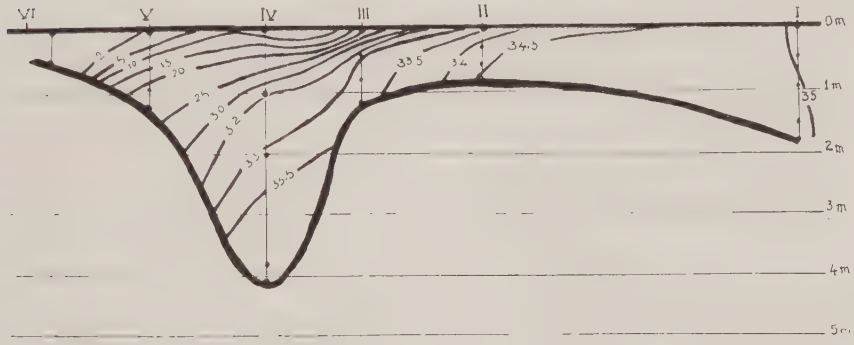



Fig. 14. — Observations simultanées de la salinité en morte-eau, le 3 juin. Coupe des isohalines 2 heures après la pleine-mer (PM+2).

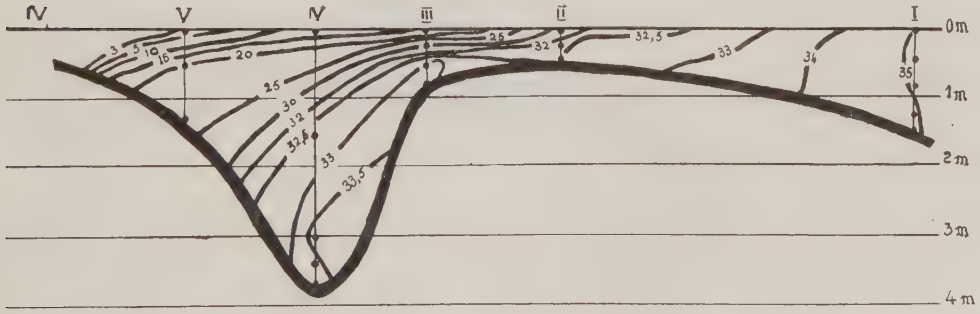



Fig. 15. — Observations simultanées de la salinité en morte-eau, le 3 juin. Coupe des isohalines à la mi-marée montante (mm ↑ ).

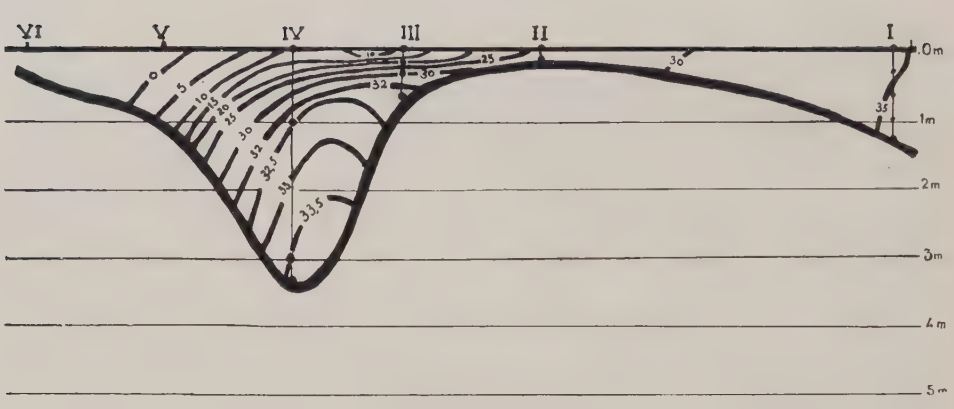



Fig. 16. — Observations simultanées de la salinité en morte-eau, le 3 juin. Coupe des isohalines 2 heures avant la basse-mer (BM-2).

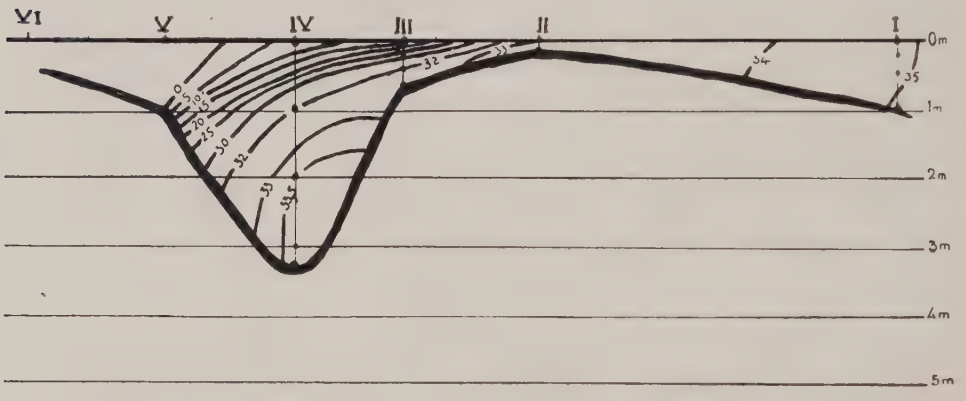



Fig. 17. — Observations simultanées de la salinité en morte-eau, le 3 juin. Coupe des isohalines 1 heure avant la basse-mer (BM-1).

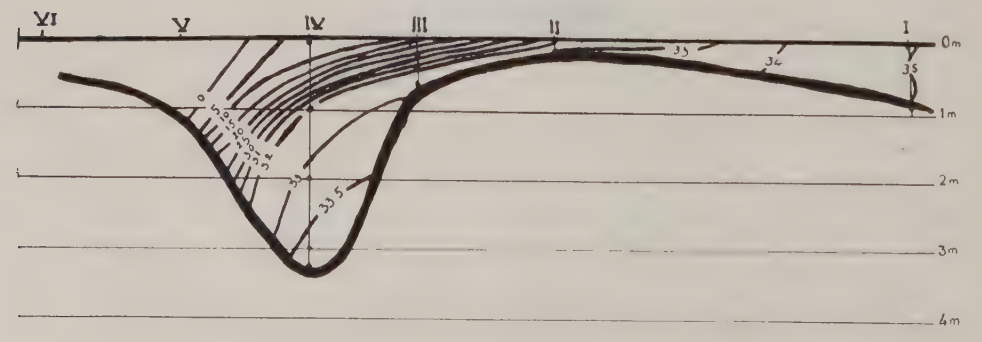



Fig. 18. — Observations simultanées de la salinité en morte-eau, le 3 juin. Coupe des isohalines à l'instant de la basse-mer (BM).

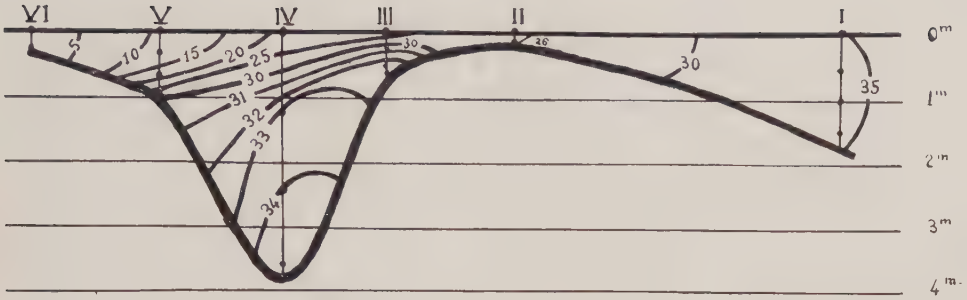



Fig. 19. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines à la mi-marée descendante (mm ↓).

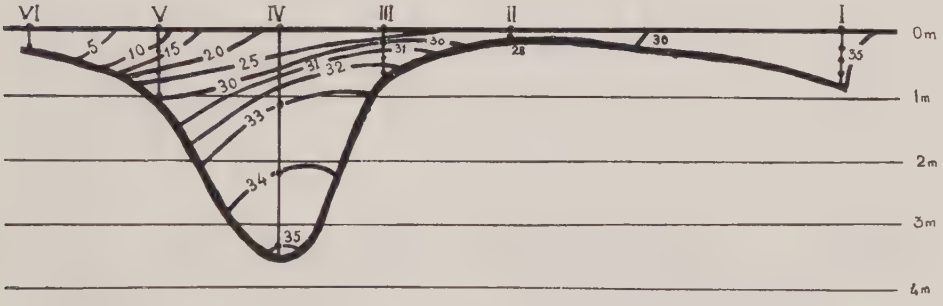



Fig. 20. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines 2 heures avant la basse-mer (BM-2).

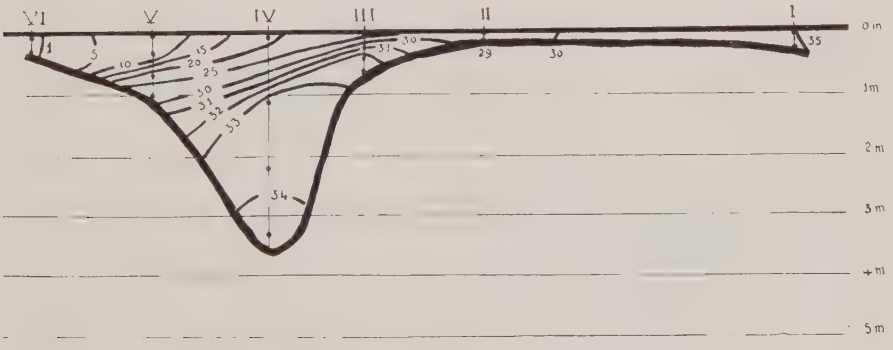



Fig. 21. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines 1 heure avant la basse-mer (BM-1).

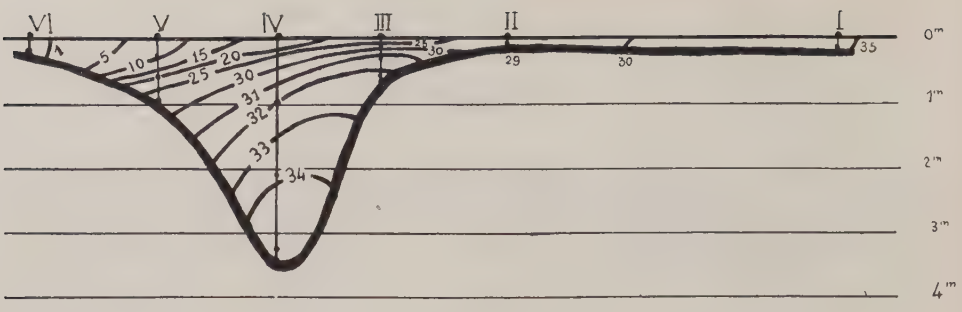



Fig. 22. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines à l'instant de la basse-mer (BM).

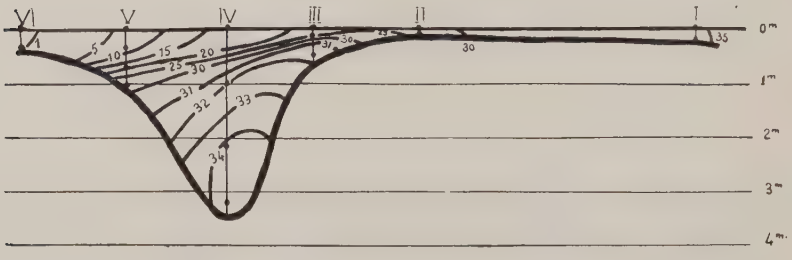



Fig. 23. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines 1 heure après la basse-mer (BM+1).

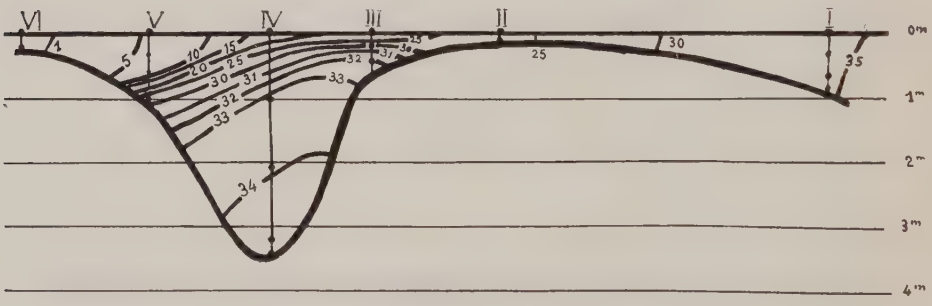



Fig. 24. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines 2 heures après la basse-mer (BM+2).

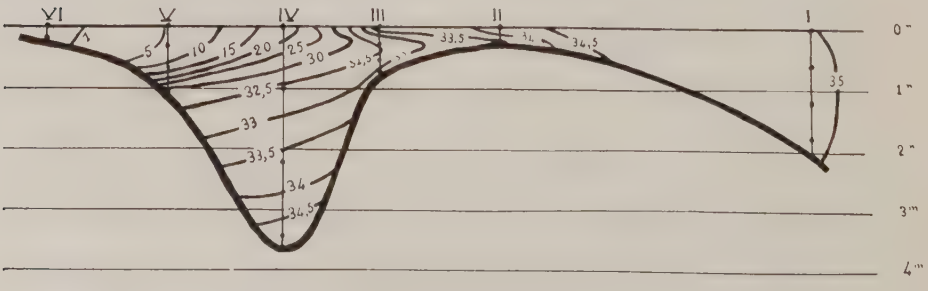



Fig. 25. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines à la mi-marée montante (mm ↑).

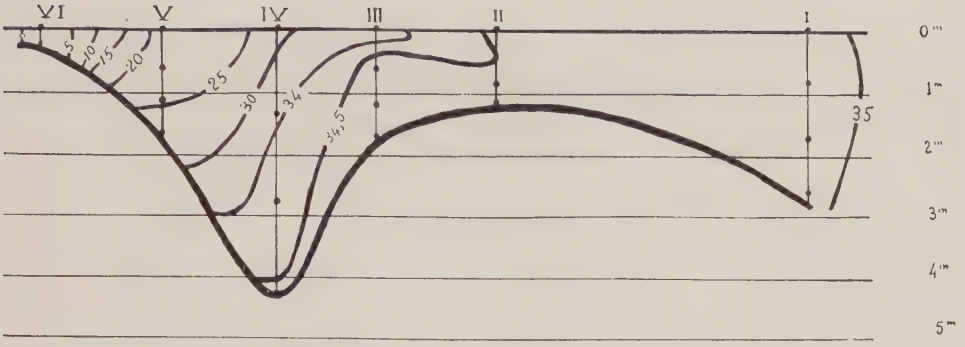



Fig. 26. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines 2 heures avant la pleine-mer (PM-2).

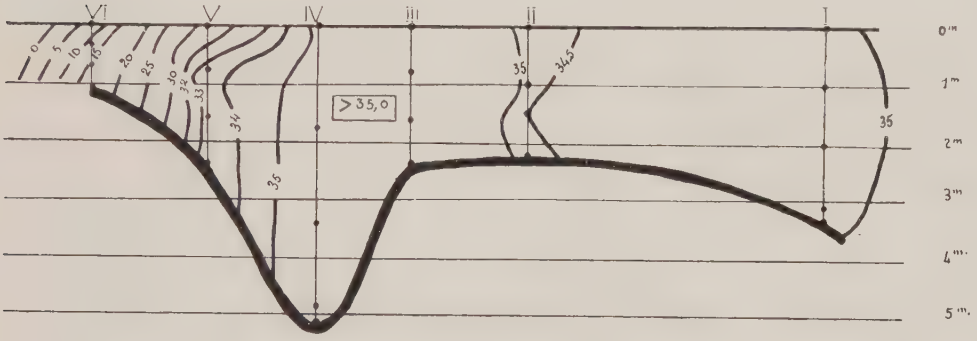



Fig. 27. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines 1 heure avant la pleine-mer (PM-1).

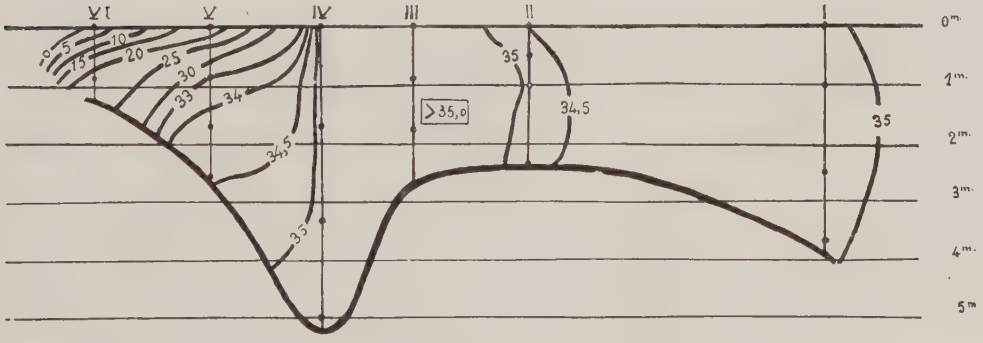



Fig. 28. — Observations simultanées de la salinité en vive-eau, le 10 juin. Coupe des isohalines à l'instant de la pleine-mer (PM).

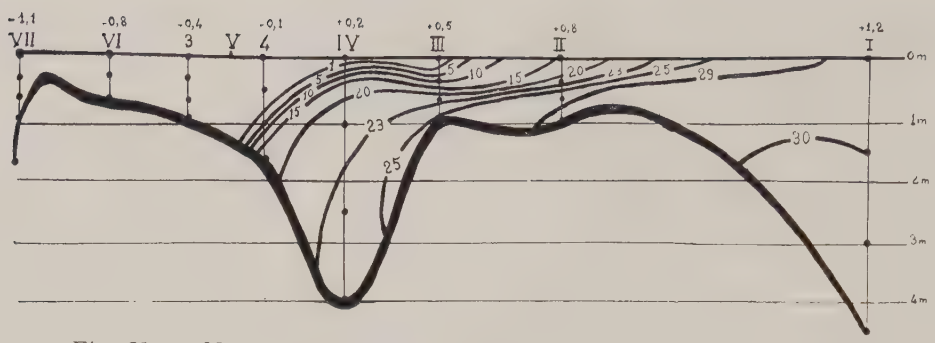



Fig. 31. — Morte-eau. Pleine-mer. 6 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude moyenne : 0,9 m. — Isohalines.

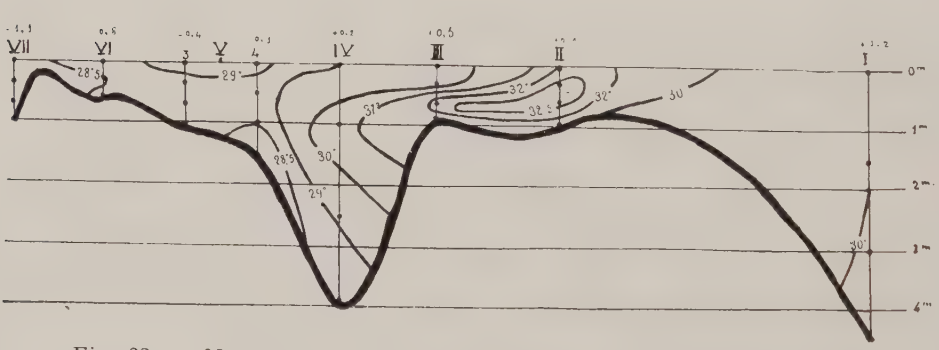



Fig. 32. — Morte-eau. Pleine-mer. 6 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude moyenne : 0,9 m. — Isothermes.

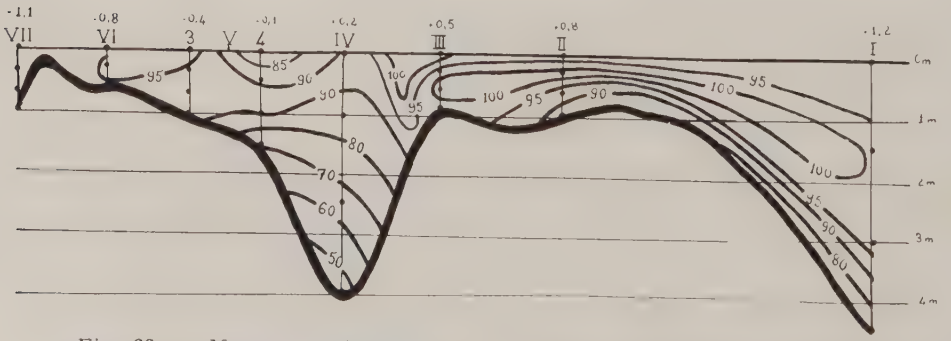



Fig. 33. — Morte-eau. Pleine-mer. 6 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude moyenne : 0,9 m. — Oxygène dissous ($O_2$ %).

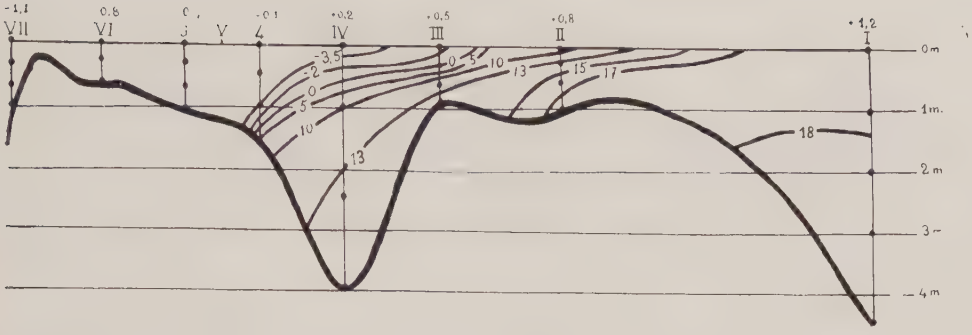



Fig. 34. — Morte-eau. Pleine-mer. 6 avril. Beau temps, peu nuageux Amplitude moyenne : 0,9 m. — Densité ( $\sigma_t$).

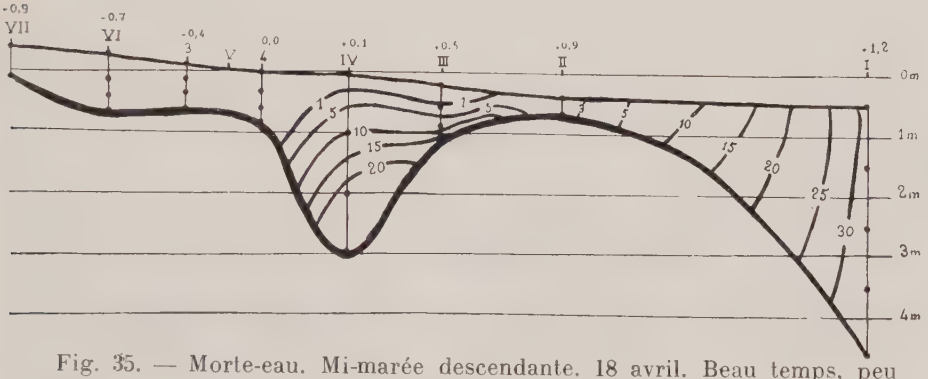



Fig. 35. — Morte-eau. Mi-marée descendante. 18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 1,6 m. — Isohalines.

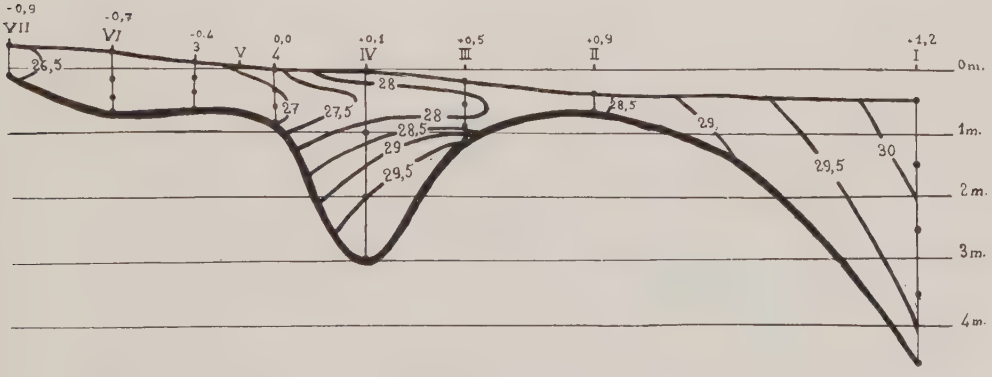



Fig. 36. — Morte-eau. Mi-marée descendante. 18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 1,6 m. — Isothermes.

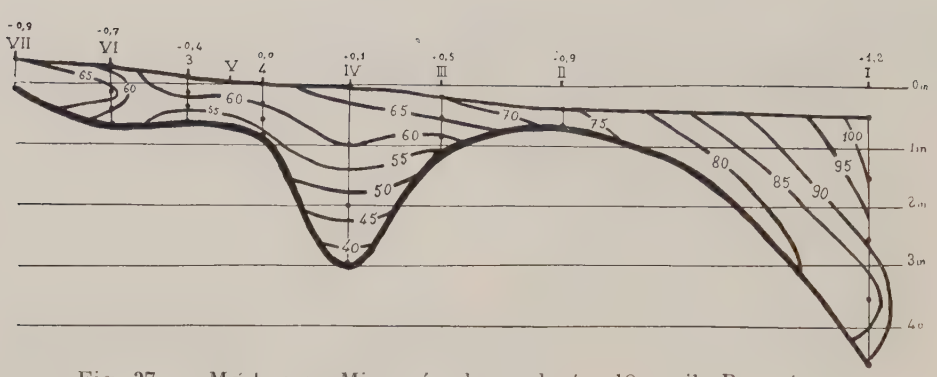



Fig. 37. — Morte-eau. Mi-marée descendante. 18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 1,6 m. — Oxygène dissous ($O_2$ %).

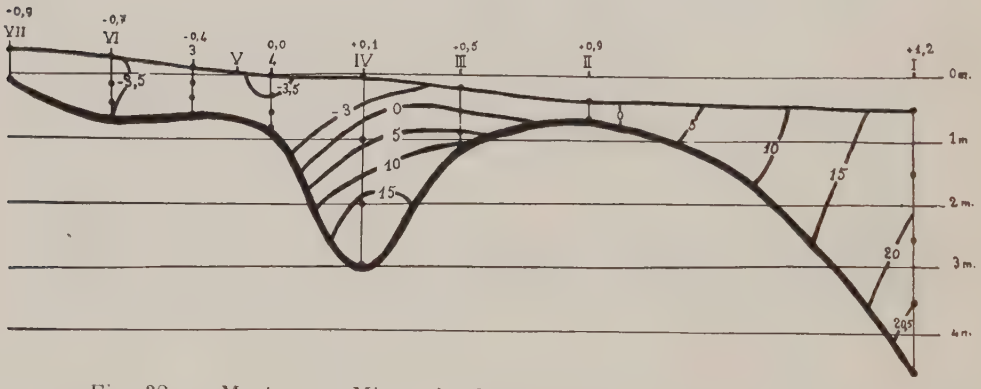



Fig. 38. — Morte-eau. Mi-marée descendante. 18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 1,6 m. — Densité ( $\sigma_t$).

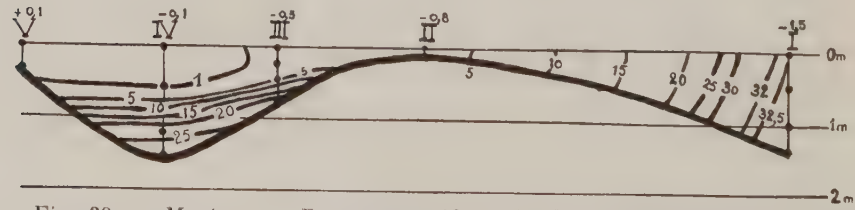



Fig. 39. — Morte-eau. Basse-mer. 18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude moyenne : 1,6 m — Isohalines.

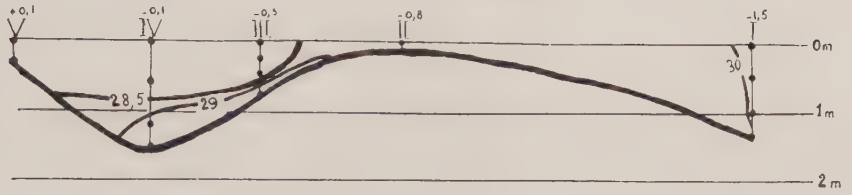



Fig. 40. — Morte-eau. Basse-mer. 18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude moyenne : 1,6 m. — Isothermes.

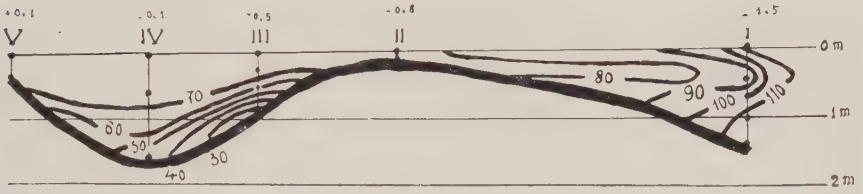



Fig. 41. — Morte-eau. Basse-mer. 18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude moyenne : 1,6 m. - - Oxygène dissous ($O_2$ %).

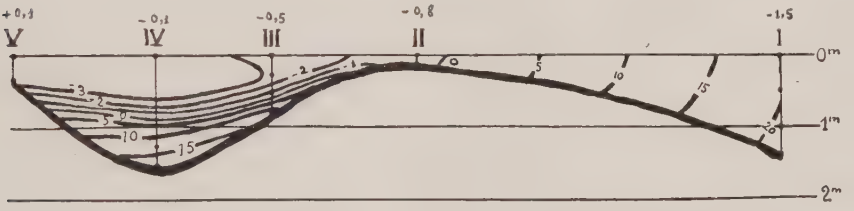



Fig. 42. — Morte-eau. Basse mer. 18 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude moyenne : 1,6 m. — Densité ( $\sigma_t$).

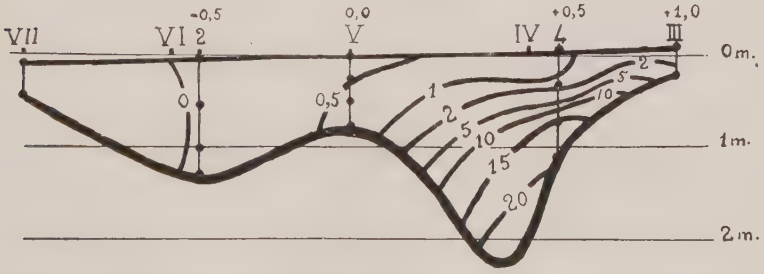



Fig. 43. — Morte-eau. Mi-marée montante. 7 mars. Beau temps, nuageux. Amplitude : 0,5 m. — Isohalines.

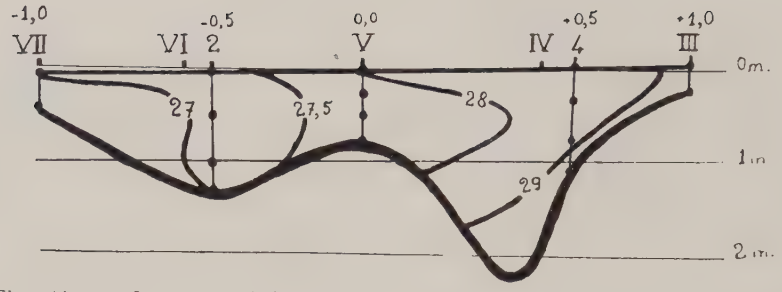



Fig. 44. — Morte-eau. Mi-marée montante. 7 mars. Beau temps, nuageux. Amplitude : 0,5 m. — Isothermes.

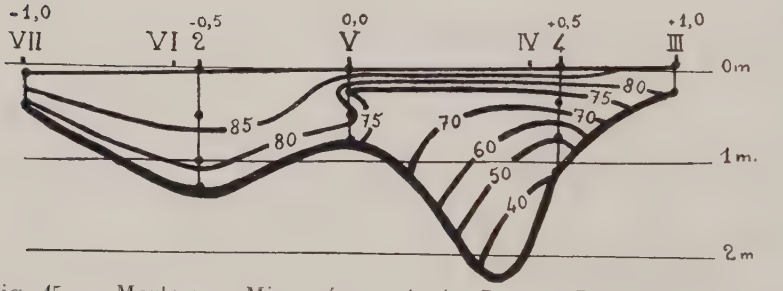



Fig. 45. — Morte-eau. Mi-marée montante. 7 mars. Beau temps, nuageux. Amplitude : 0,5 m. — Oxygène dissous ($O_2$ %).

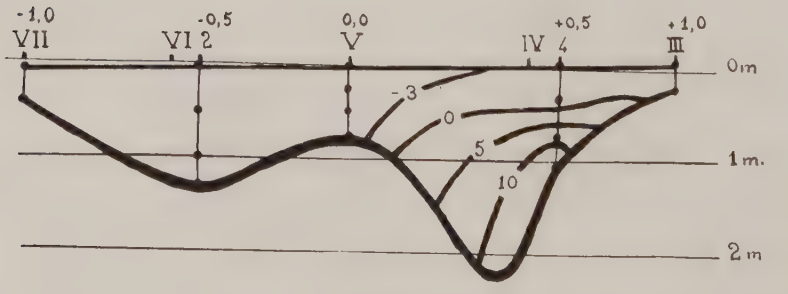



Fig. 46. — Morte-eau. Mi-marée montante. 7 mars. Beau temps, nuageux. Amplitude : 0,5 m. — Densité ( $\sigma_t$).

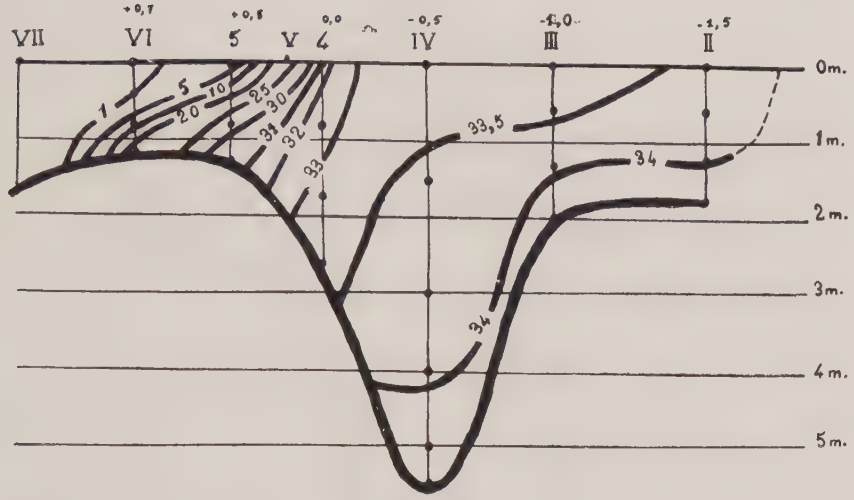



Fig. 47. — Vive-eau. Pleine-mer. 11 mai. Beau temps, très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,9 m. — Isohalines.

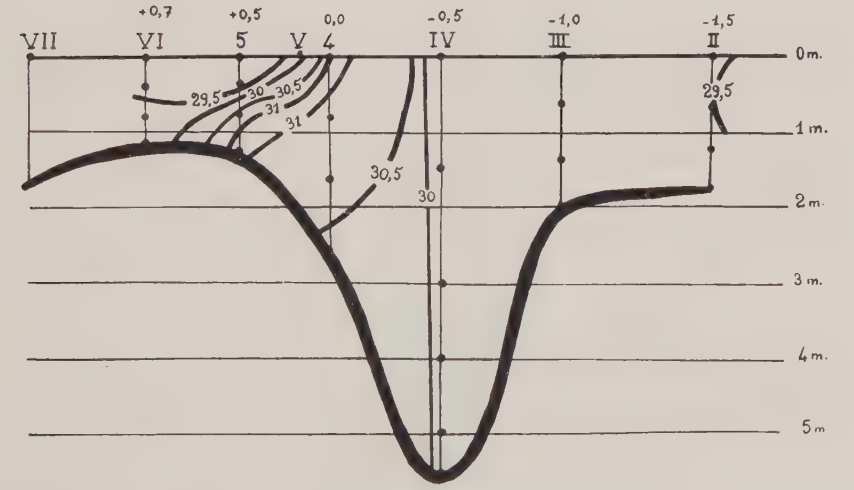



Fig. 48. — Vive-eau. Pleine-mer. 11 mai. Beau temps, très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,9 m. — Isothermes.

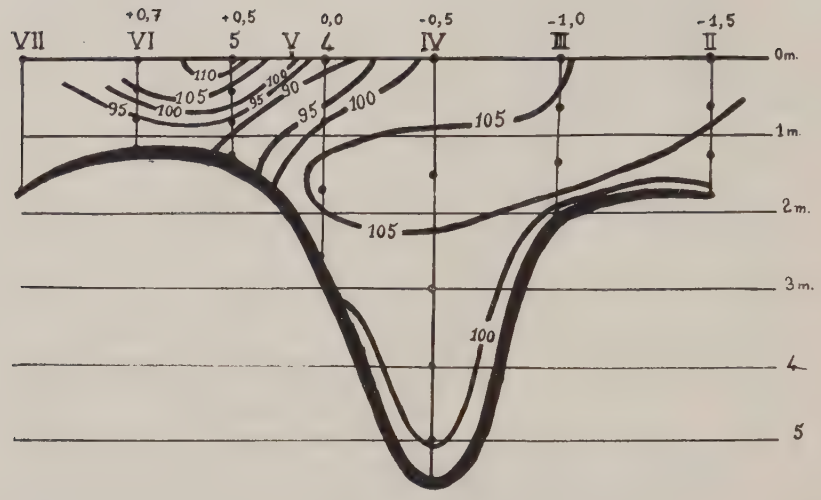



Fig. 49. — Vive-eau. Pleine-mer. 11 mai. Beau temps, très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,9 m. — Oxygène dissous ($O_2$ %).

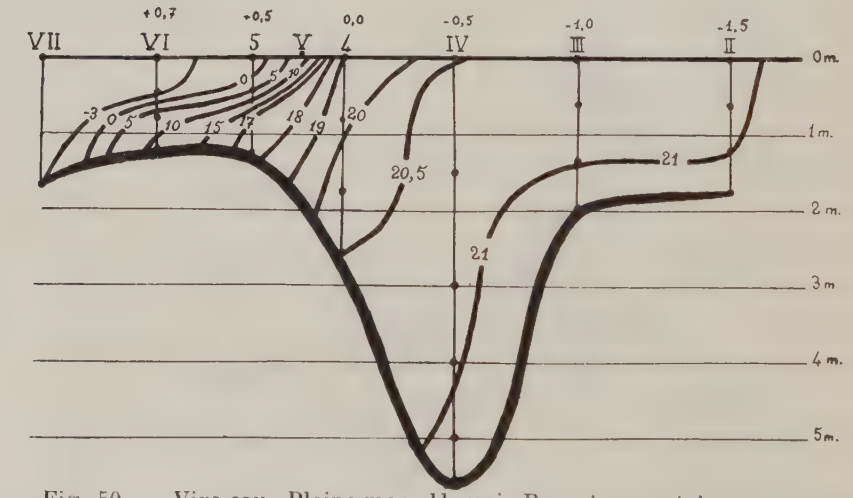



Fig. 50. — Vive-eau. Pleine-mer. 11 mai. Beau temps, très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,9 m. — Densité ( $\sigma_t$).

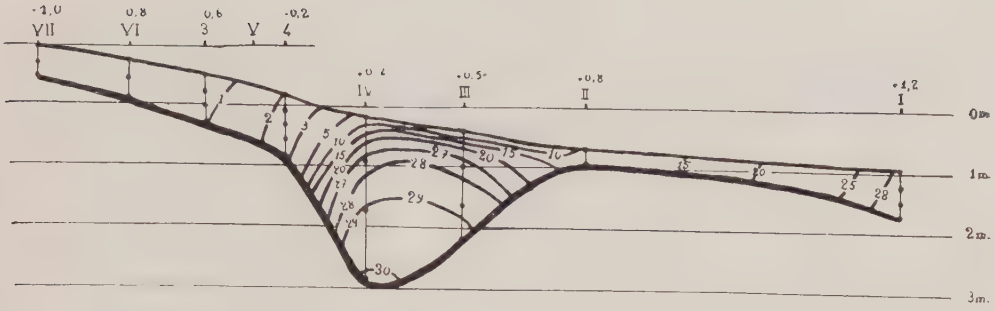



Fig. 51. — Vive-eau. Mi-marée descendante. 13 avril. Temps variable. Amplitude : 3,5 m. — Isohalines.

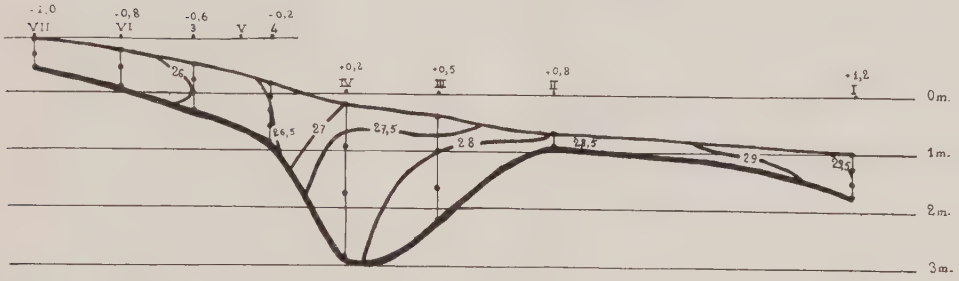



Fig. 52. — Vive-eau. Mi-marée descendante. 13 avril. Temps variable. Amplitude : 3,5 m. — Isothermes.

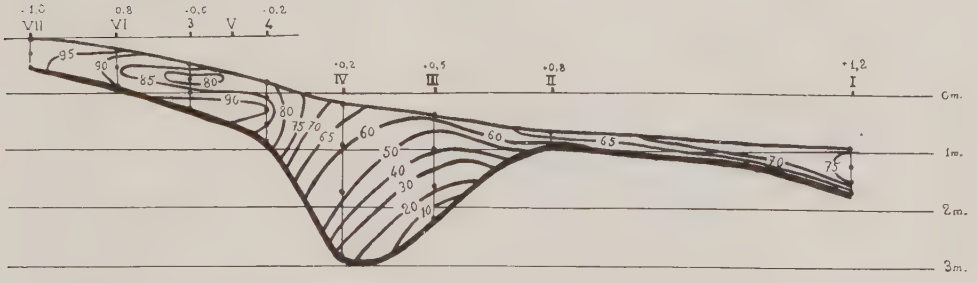



Fig. 53. — Vive-eau. Mi-marée descendante. 13 avril. Temps variable. Amplitude : 3,5 m. — Oxygène dissous ($O_2$ %).

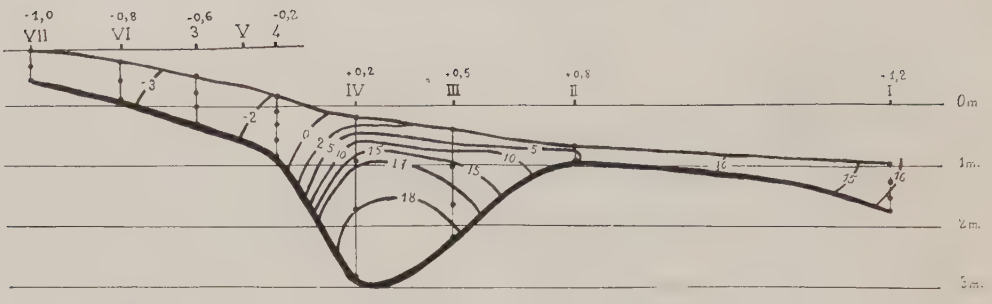



Fig. 54. — Vive-eau. Mi-marée descendante. 13 avril. Temps variable. Amplitude : 3,5 m. — Densité ( $\sigma_t$).

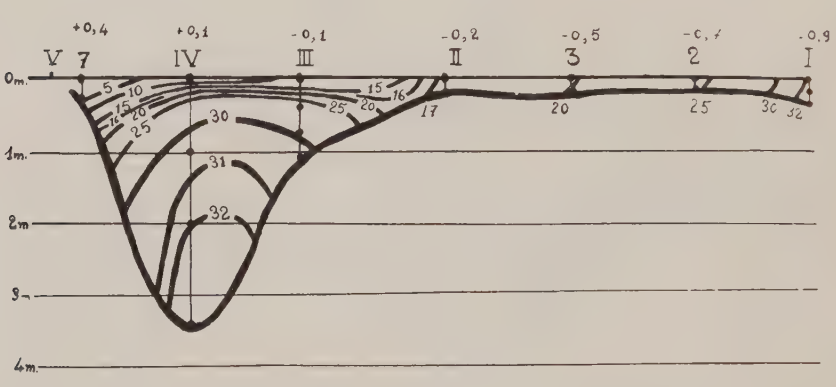



Fig. 55. — Vive-eau. Basse-mer. 11 mai. Beau temps, très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,6 m. — Isohalines.

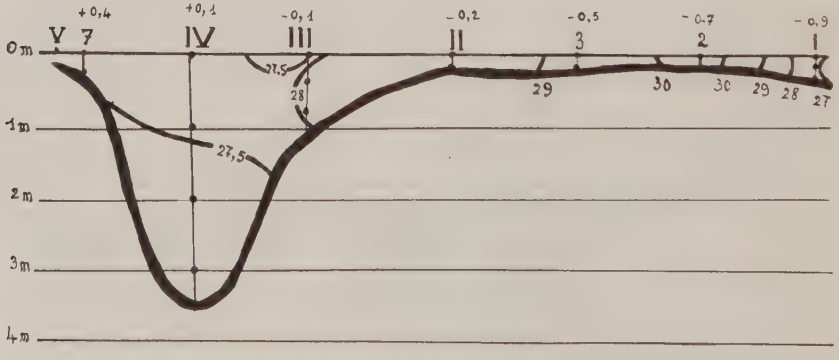



Fig. 56. — Vive-eau. Basse-mer. 11 mai. Beau temps, très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,6 m. — Isothermes.

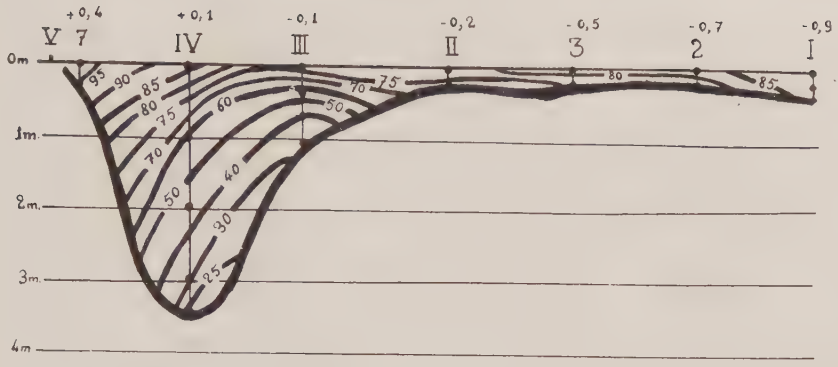



Fig. 57. — Vive-eau. Basse-mer. 11 mai. Beau temps, très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,6 m. — Oxygène dissous ($O_2$ %).

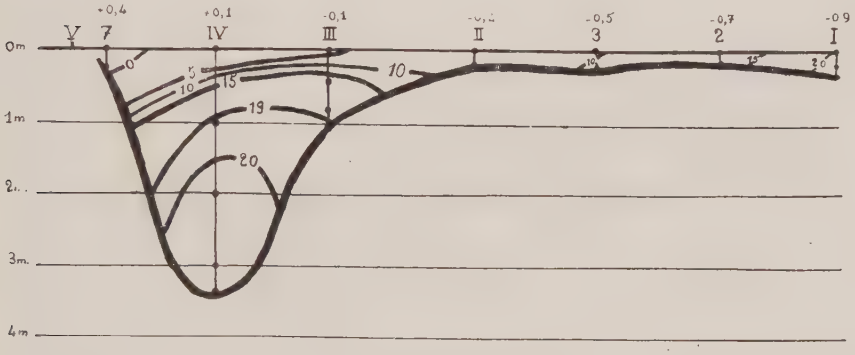



Fig. 58. — Vive-eau. Basse-mer. 11 mai. Beau temps, très peu nuageux. Amplitude moyenne : 3,6 m. — Densité ( $\sigma_t$).

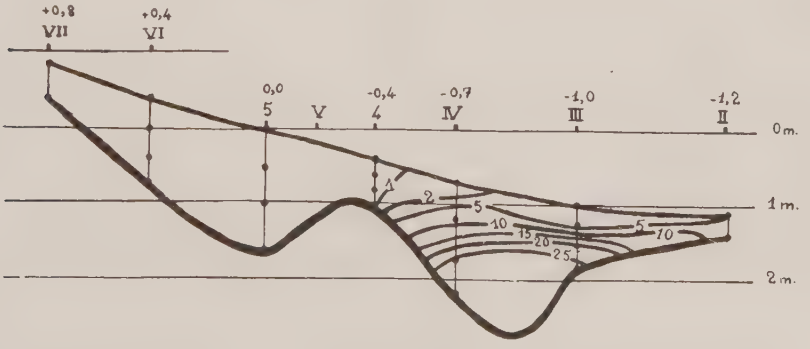



Fig. 59. — Vive-eau. Mi-marée montante. 12 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 3,9 m. — Isohalines.

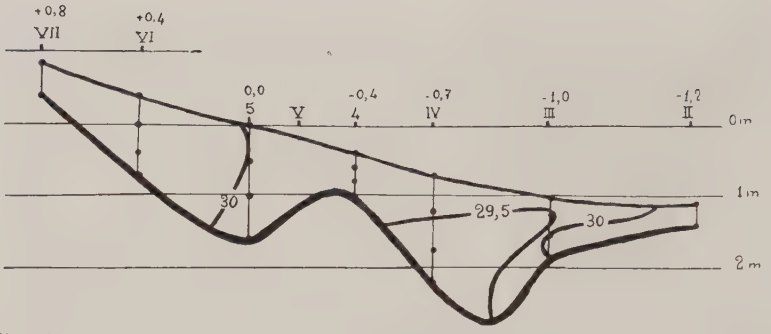



Fig. 60. — Vive-eau. Mi-marée montante. 12 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 3,9 m. — Isothermes.

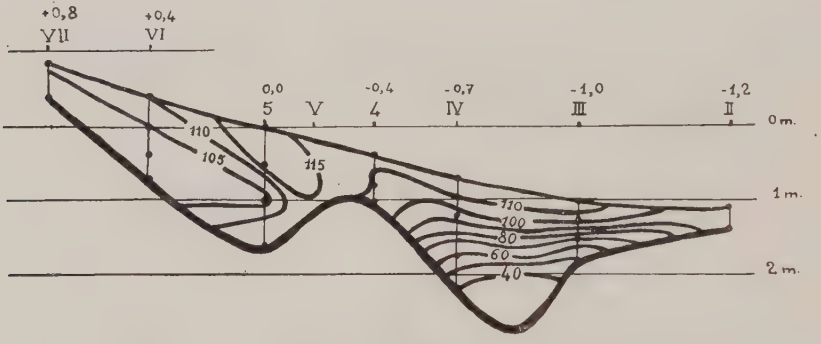



Fig. 61. — Vive-eau. Mi-marée montante. 12 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 3,9 m. — Oxygène dissous ($O_2$ %).

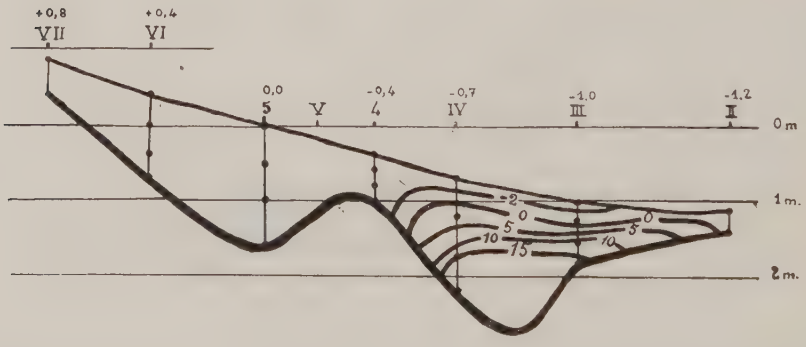



Fig. 62. — Vive-eau. Mi-marée montante. 12 avril. Beau temps, peu nuageux. Amplitude : 3,9 m. — Densité ( $\sigma_t$).

MÉMOIRES DE L'INSTITUT SCIENTIFIQUE DE MADAGASCAR
Série F. - Tome II. — 1958

# COPEPODES PARASITES DE MOLLUSQUES A MADAGASCAR

par

Arthur G. HUMES (*)

Dans la région de Nossi-Bé j'ai trouvé onze espèces de Copépodes Cyclopoïdes associées à sept espèces de Mollusques (deux Nudibranches et cinq Pélécypodes). Dix des Copépodes, décrits ci-dessous, sont nouveaux. Le onzième est probablement nouveau mais n'est pas décrit ici par suite d'un matériel insuffisant.

Je désire exprimer mes remerciements à R. Paulian, Directeur-adjoint de l'I.R.S.M. et surtout à P. Fourmanoir de la station Océanographique à Nossi-bé, de l'assistance qu'ils m'ont donnée. J'offre l'expression de ma sincère reconnaissance à J.C. Bequaert pour la détermination des Pélécypodes, à M^lle^ R.D. Turner pour l'identification des Nudibranches, et à R.F. Cressey pour son aide avec les dissections et les dessins.

Cette étude a été aidée par des bourses de la Fondation Guggenheim et de la Fondation Nationale de Science des Etats-Unis.

## *LICHOMOLGIDAE* Claus

### **Anthessius pinnae** n. sp.

*Spécimens étudiés.* — 200 Copépopes de la cavité du manteau de 232 Pélécypodes, *Pinna muricata* Linné, trouvés dans le sable corallien couvert d'environ 30 cm d'eau à marée basse le long du bord à l'Ouest de Pointe Lokobe, Nossi-Bé, Madagascar, le 8 juillet 1955.

Holotype femelle, allotype, et 60 paratypes (50 femelles et 10 mâles) déposés à l'I.R.S.M. à Tananarive, 60 paratypes (50 femelles et 10 mâles) au Muséum National des Etats-Unis à Washington, et les autres paratypes dans la collection de l'auteur.

*Femelle.* — Corps assez élargi (fig. 1), la tête et le thorax à peu près 1,5 fois plus long que large (mesuré du bout antérieur au bord postérieur du segment de la quatrième patte). Longueur totale, y compris

(*) Department of Biology, Boston University, Boston, Massachusetts, U. S. A.

les rames caudales, 1,458 mm (1,344-1,644 mm), largeur 0,490 mm (0,470-0,516 mm), observation basée sur dix spécimens. Segment de la première patte (deuxième segment thoracique) incomplètement séparé de la tête par un sillon dorsal assez indistinct. Angles postérieurs arrondis du troisième segment thoracique avec une petite épine voisine (fig. 2). Très petits poils répandus sur la surface dorsale de la tête et du thorax. Segment génital 176 μ en longueur, pas très gonflé, les régions d'attachement des sacs ovigères (fig. 3) situées dorsolatéralement dans la moitié antérieure du segment et armées de deux petites soies. Abdomen (fig. 4) 3-segmenté, le segment du milieu distinctement le plus court (98, 67 et 101 μ en longueur de l'antérieur au postérieur). Segment génital et les segments abdominaux avec des petits poils et des épines sur la surface ventrale comme indiqué sur la figure. Dernier segment abdominal dorsalement avec un lobe faible, presque comme un opercule, et avec des rangées de poils le long de la région anale comme indiqué (fig. 5).

Sacs ovigères (fig. 6) tenus presque parallèles mais dirigés assez dorsalement à l'abdomen (dans les échantillons conservés à l'alcool à 70°), chaque sac 0,469 mm (0,348-0,648 mm) × 0,193 mm (0,168-0,228 mm), observation basée sur neuf spécimens, atteignant le milieu de la rame caudale. Nombre moyen des œufs 38 (25-55).

Rostre (fig. 7) arrondi et recourbé ventralement, avec sa surface ayant des poils dispersés. Première antenne (fig. 8) avec sept articles, leurs longueurs (mesurées le long de leurs marges postérieures) 56, 87, 25, 64, 45, 19, et 22 μ respectivement. Un organe sensoriel mince sur l'antépénultième article, un autre sur le pénultième, et deux sur le dernier article (fig. 9). Deuxième antenne (fig. 10) 3-articulée, le dernier article avec deux épines recourbées, bien chitinisées (fig. 11), six soies, et de petits poils dispersés comme indiqué sur la figure.

Labre largement échancré au milieu. Mandibule (fig. 12) avec les deux flagelles ordinaires atténués. Première maxille (fig. 13) un lobe un peu irrégulier avec quatre petites soies et une protubérance finement épineuse. Deuxième maxille (fig. 14) du type ordinaire. Maxillipède (fig. 15) 3-articulé, avec seulement deux petites soies et un processus digitiforme au bout. Région orale comme sur la fig. 16.

Rames des pattes 1-4 avec trois articles. Formule des épines et des soies de ces pattes comme suit :

| | 1re PATTE | | 2e PATTE | | 3e PATTE | | 4e PATTE | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *exp.* | *end.* | *exp.* | *end.* | *exp.* | *end.* | *exp.* | *end.* |
| 1er article ..... | 1:0 | 0:1 | 1:0 | 0:1 | 1:0 | 0:1 | 1:0 | 0:1 |
| 2e article ..... | 1:1 | 0:1 | 1:1 | 0:2 | 1:1 | 0:2 | 1:1 | 0:2 |
| 3e article ..... | 8 | 6 | 9 | 6 | 9 | 6 | 8 | 5 |

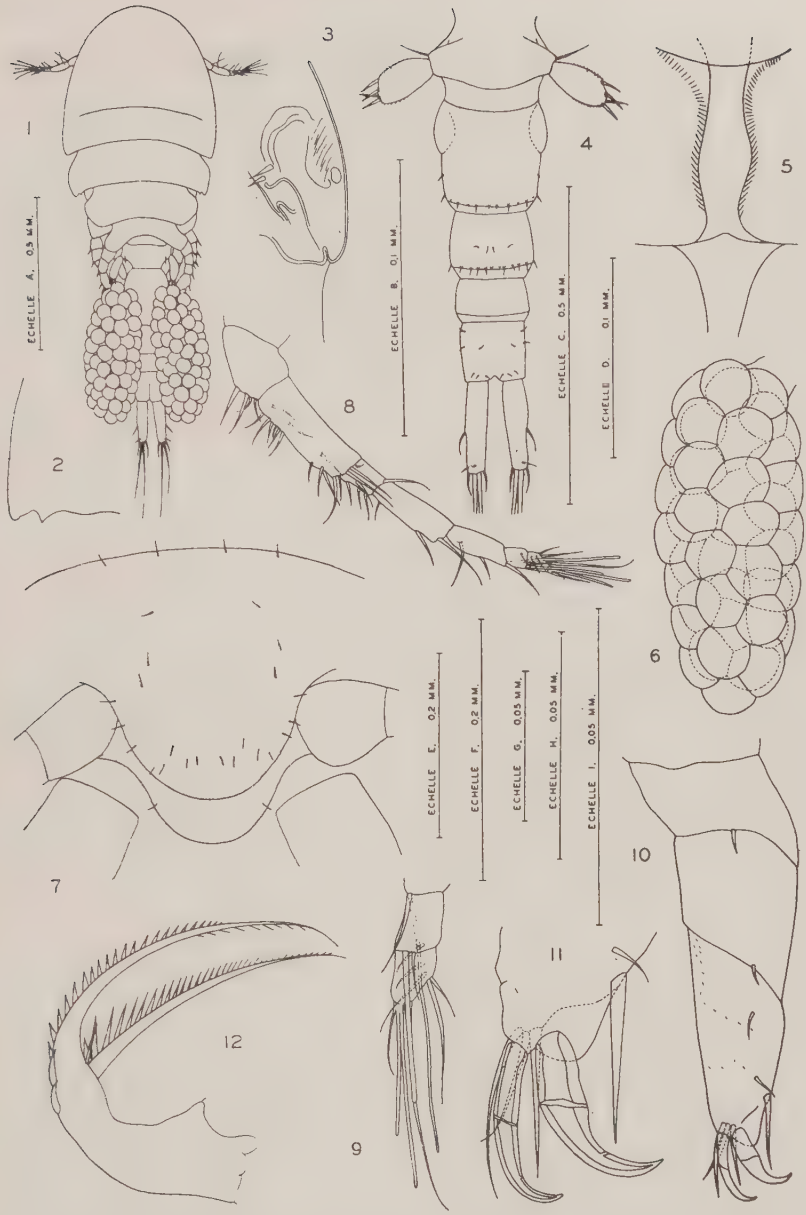



Fig. 1 à 12 (*). — *Anthessius pinnae* n. sp., femelle. — 1, Vue dorsale (A) ; 2, Angle postérieur du troisième segment thoracique (B) ; 3, Point de fixation du sac ovigère (B) ; 4, Segment génital et abdomen, vue ventrale (C) ; 5, Région anale, vue dorsale (D) ; 6, Sac ovigère (E) ; 7, Rostre (F) ; 8, Première antenne (F) ; 9, Apex de la première antenne (G) ; 10, Deuxième antenne (D) ; 11, Apex de la deuxième antenne (H) ; 12, Mandibule (B).

(*) Toutes les figures ont été dessinées à la chambre claire. Les lettres suivant l'explication de chaque figure indiquent l'échelle à laquelle elle a été dessinée.

Première patte (fig. 17) avec trois épines marginales et une épine terminale, toutes frangées, sur le dernier article de l'exopodite, et une épine semblable sur le dernier article de l'endopodite. Deuxième patte (fig.18) avec une disposition semblable des épines sur l'exopodite, mais avec trois épines sur le dernier article de l'endopodite. Troisième patte (fig. 19) avec l'exopodite comme sur la deuxième patte, mais avec quatre épines sur le dernier article de l'endopodite. Quatrième patte (fig. 20) avec deux épines marginales et une épine terminale longue (fig. 21) sur le dernier article de l'exopodite et quatre épines sur le dernier article de l'endopodite.

Cinquième patte (fig. 22) avec l'article libre 98 × 56 μ, environ 1,7 fois plus long que large, ayant à son extrémité deux épines frangées et une soie nue et sub-terminalement une épine extérieure frangée. Rangés de petites épines le long des deux bords de l'article et près des bases des deux épines frangées terminales. Sixième patte manquante.

Rame caudale (fig. 23) allongée, 151 × 44 μ, avec une soie un peu au-delà du milieu du bord extérieur, une très petite épine plus loin vers le bout, une soie dorsale pédicellée, et quatre soies terminales, les deux du milieu longues, inégales en longueur (l'intérieure beaucoup plus longue que l'extérieure) et ayant la trace d'une articulation à environ mi-chemin de leur longueur (fig. 24).

Coloration sur le vivant en lumière réfléchie, presque transparente, l'intestin rose (particulièrement la partie antérieure), l'œil rouge, l'ovaire blanc. En lumière transmise, l'intestin et l'ovaire opaques, gris, l'œil d'un brun foncé.

*Mâle.* — Forme du corps (fig. 25) en général comme celle de la femelle. Longueur totale, y compris les rames caudales, 1,003 mm (0,936-1,080 mm), largeur 0,315 mm (0,280-0,336 mm), observation basée sur dix spécimens. Angles postérieurs du troisième segment thoracique arrondis, sans épine. Segment génital un peu élargi et tronqué postérieurement. Abdomen 4-segmenté (fig. 26), les segments presque égaux (67, 64, 42, et 64 μ en longeur) excepté le pénultième qui est plus court, et armés de rangées de poils ou de petites épines comme indiqué. (fig. 27). Spermatophore (fig. 28) environ 168 × 75 μ.

Première antenne (fig. 29) 7-articulée, avec trois organes sensoriels longs sur le deuxième article, un sur le quatrième, un sur le sixième, et deux sur le dernier. Maxillipède (fig. 30) avec un deuxième article gros et épineux et une griffe longue, mince, et recourbée avec une frange étroite le long de sa marge concave.

Première patte avec le dernier article de l'endopodite (fig. 31) armé de quatre soies plumeuses intérieures, une soie bilatéralement pectinée, et une épine modifiée finement frangée (fig. 32).

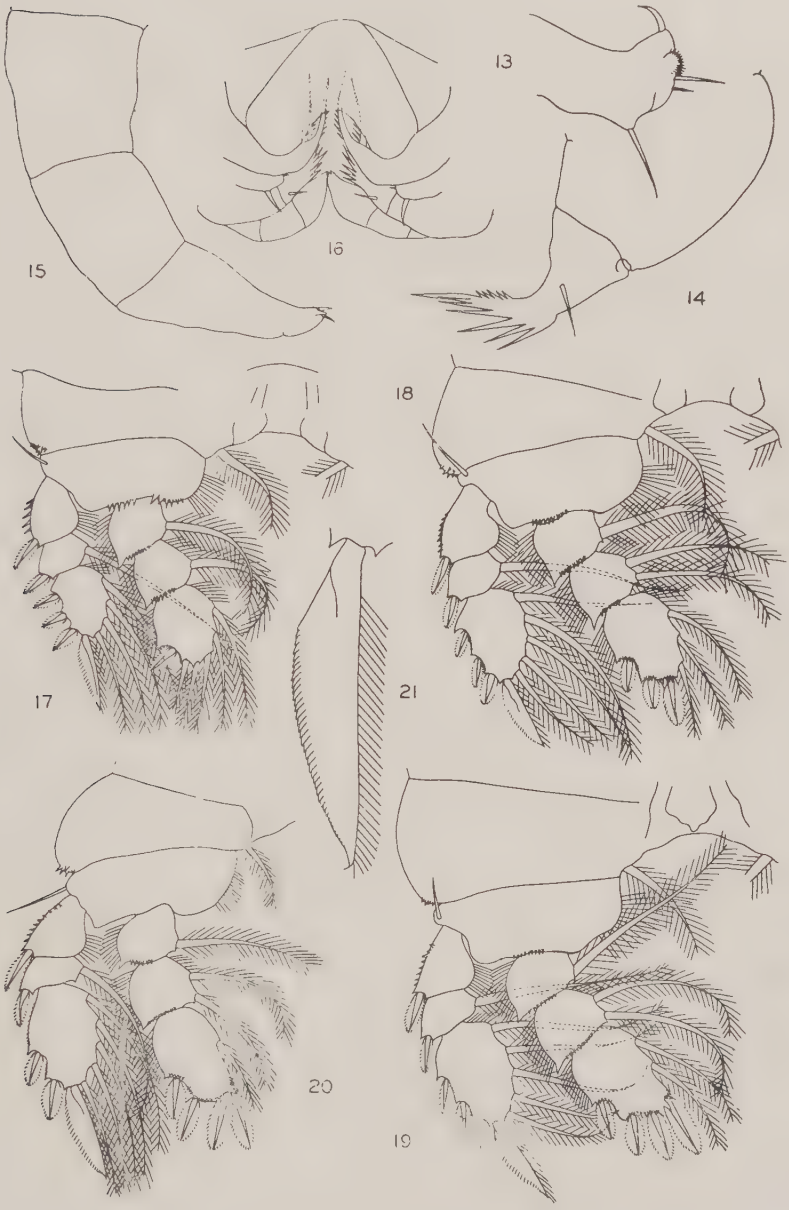



Fig. 13 à 21. — *Anthessius pinnae* n. sp., femelle. — 13, Première maxille (B) ; 14, Deuxième maxille (B) ; 15, Maxillipède (B) ; 16, Région orale (F) ; 17, Première patte (F) ; 18, Deuxième patte (F) ; 19, Troisième patte (F) ; 20, Quatrième patte (F) ; 21, Epine terminale de l'exopodite de la quatrième patte (H).

Cinquième patte (fig. 33) comme chez la femelle, mais plus petite, 67 × 39 µ.

Sixième patte (fig. 34) composée de deux soies, 20 µ et 14 µ en longueur, aux angles postérieurs latéraux du segment génital.

Rame caudale (fig. 35) comme chez la femelle mais plus courte et proportionnellement plus petite, 84 × 30 µ.

Coloration sur le vivant comme chez la femelle.

Onze espèces d'*Anthessius* ont été reconnues. *A. pleurobranchede* Della Valle 1880 reste insuffisamment décrit. *A. pinnae* peut être facilement séparé des femelles d'*A. solecurti* Della Valle 1880, *A. concinnus* (A. Scott 1909), *A. arenicolus* (Brady 1880), *A. groenlandicus* (Hansen 1923), et *A. brevifurca* Sewall 1949, tous ayant trois épines marginales sur le bord extérieur du dernier article de l'exopodite de la quatrième patte. Les femelles des deux espèces, *A. hawaiiensis* (Wilson 1921) et *A. pleurobranchi* Claus 1889, ont 3 mm ou plus de long et ainsi peuvent être distinguées d'*A. pinnae* par leur taille.

Des quatre espèces qui restent, les femelles de deux, *A. leptostylis* (Sars 1916) et *A. dilatatus* (Sars 1918), ont une cinquième patte étroite. *A. investigatoris* Sewall 1949, connu seulement par un mâle, a aussi une cinquième patte étroite. *A. navanacis* (Wilson 1935) a une cinquième patte nettement élargie, 1,6 fois plus longue que large, de presque les mêmes proportions que chez *A. pinnae*. Elle se distingue pourtant d'*A. pinnae* en ayant six ou sept griffes terminales sur la deuxième antenne et les rames caudales environ aussi longues que le dernier segment de l'abdomen.

Quatre espèces, *A. pleurobranchi*, *A. solecurti*, *A. hawaiiensis*, et *A. navanacis*, sont parasites des Opisthobranches. Les autres espèces sont connues comme libres. *A. pinnae* apparaît être la première espèce trouvée dans un Pélécypode.

**Lichomolgus venustus** n. sp.

*Spécimens étudiés.* — 22 femelles et 18 mâles de la surface de cinq Nudibranches, *Phyllidia trilineata* Cuvier, trouvés à marée basse dans 30 cm d'eau sur le corail entre Ambariotelo et Ambariobe, au Nord de Nossi-Komba, le 20 juillet 1955, et dans un habitat semblable à Pointe Mahatsinjo, Nossi-Bé, le 22 juillet 1955.

Holotype femelle, allotype, et 11 paratypes (6 femelles et 5 mâles) déposés à l'I.R.S.M. à Tananarive, 11 paratypes (6 femelles et 5 mâles) au Muséum National des Etats-Unis à Washington, et les autres paratypes dans la collection de l'auteur. Tous les types de la première localité citée.

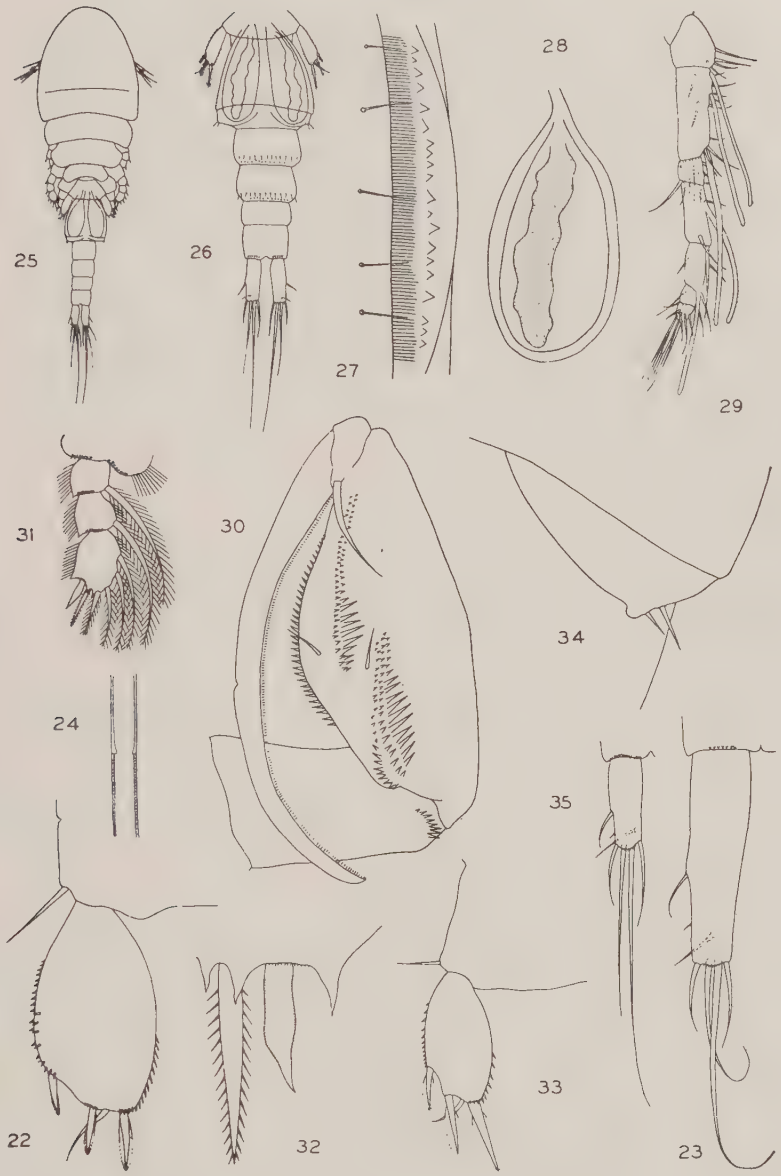



Fig. 22 à 35. — *Anthessius pinnae* n. sp. — Femelle : 22, Cinquième patte (D) ; 23, Rame caudale, vue ventrale (F) ; 24, Trace d'articulation dans la soie longue terminale de la rame caudale (I). — Mâle : 25, Vue dorsale (A) ; 26, Segment génital et abdomen, vue ventrale (C) ; 27, Bord postérieur ventral du deuxième segment de l'abdomen (I) ; 28, Spermatophore (D) ; 29, Première antenne (F) ; 30, Maxillipède (B) ; 31, Endopodite de la première patte (F) ; 32, Epine et soie au bout de l'endopodite de la première patte (I) ; 33, Cinquième patte (D) ; 34, Sixième patte (B) ; 35, Rame caudale, vue ventrale (F).

*Femelle.* — Corps élargi (fig. 36), la tête et le thorax environ 1,2 fois plus longs que larges (mesuré du bout antérieur au bord postérieur du segment de la quatrième patte). Longueur totale, y compris les rames caudales, 1,037 mm (0,924-1,188 mm), largeur 0,595 mm (0,552-0,664 mm), observation basée sur dix spécimens. Segment de la première patte incomplètement séparé de la tête par un court sillon transverse dorsal. Région dorsale du thorax et de la tête avec beaucoup de poils minuscules. Angles postérieurs des segments thoraciques arrondis, mais, avec un grossissement suffisant, légèrement crénelés (fig. 37). Segment génital 140 μ en longueur, gonflé, environ 260 μ en largeur, les points de fixation des sacs ovigères (fig. 38) situées dorsolatéralement dans la partie postérieure du segment et armées de deux petites soies. Abdomen (fig. 39) 3-segmenté, le segment au milieu le plus court (42, 31, et 36 μ respectivement). Segment génital et segments abdominaux avec des poils nombreux sur leurs surfaces ventrales. Rapport de la longueur totale du corps à la longueur de l'abdomen et les rames caudales environ 8:1.

Sacs ovigères (fig. 40) dans les spécimens conservés en alcool à 70° tenus presque parallèles à l'abdomen, chaque sac 0,512 mm (0,444-0,624 mm) × 0,164 mm (0,132-0,192 mm), observation basée sur quatre spécimens, dépassant longuement l'extrémité de l'abdomen. Nombre moyen d'œufs 130 (120-140).

Rostre (fig. 41) arrondi et recourbé ventralement et postérieurement, sa surface couverte de poils fins.

Première antenne (fig. 42) avec huit articles, leurs longueurs (mesurées le long de leurs marges postérieures) 45, 109, 5, 23, 64, 42, 28, et 17 μ respectivement. Un organe sensoriel sur le dernier article et un sur le pénultième.

Deuxième antenne (fig. 43) 4-articulée, le premier article avec une seule soie intérieure, le deuxième avec une seule soie et des poils dispersés, le troisième avec trois soies, une fléchie anguleusement, le dernier portant trois soies et deux griffes, une (fig. 44) beaucoup plus grande que l'autre.

Labre largement échancré au milieu (fig. 45). Mandibule (fig. 46) avec un flagelle atténué et pectiné, ayant une expansion extérieure basale bordée d'épines et une région intérieure moins marqué portant une rangée d'épines délicates. Première maxille (fig. 47) avec trois processus distaux spiniformes et une soie sub-terminale. Deuxième maxille (fig. 48). Maxillipède (fig. 49) 3-articulé, le premier article inerme, le deuxième avec une soie longue intérieure, et le troisième avec trois soies courtes, l'une au milieu avec une lamelle sur chaque côté. Région orale comme sur la fig. 41.

Fig. 36 à 49. — *Lichomolgus venustus* n. sp., femelle. — 36, Vue dorsale (K) ; 37. Angles postérieurs des segments thoraciques (F) : 38, Point de fixation d'un sac ovigère (B) ; 39, Segment génital et abdomen, vue ventrale (E) ; 40, Sac ovigère (J) ; 41, Région orale (C) ; 42, Première antenne (F) ; 43, Deuxième antenne (F) ; 44, Epine à l'apex de la deuxième antenne (I) ; 45, Echancrure du bord du labre (B) ; 46, Mandibule (B) ; 47, Première maxille (B) ; 48, Deuxième maxille (B) ; 49, Maxillipède (B).

Rames des pattes 1-4 avec trois articles excepté l'endopodite de la quatrième patte qui n'a que deux articles. Formule des épines et des soies de ces pattes comme suit :

| | 1re PATTE | | 2e PATTE | | 3e PATTE | | 4e PATTE | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *exp.* | *end.* | *exp.* | *end.* | *exp.* | *end.* | *exp.* | *end.* |
| 1er article ..... | 1:0 | 0:1 | 1:0 | 0:1 | 1:0 | 0:1 | 1:0 | 0:1 |
| 2e article ..... | 1:1 | 0:1 | 1:1 | 0:2 | 1:1 | 0:2 | 1:1 | 2 |
| 3e article ..... | 8 | 6 | 9 | 6 | 9 | 5 | 8 | |

Le dernier article des exopodites des pattes 1-3 (figs. 50, 51 et 52) avec trois épines extérieures courtes frangées, une épine longue terminale dilatée et frangée extérieurement et avec une rangée de poils intérieurement, et dans la première patte quatre soies plumeuses, dans la deuxième et la troisième patte cinq soies semblables. Le dernier article de l'exopodite de la quatrième patte (fig. 53) avec seulement deux épines courtes extérieures, une épine longue terminale et cinq soies plumeuses. Endopodite de la première patte avec seulement une soie intérieure sur le deuxième article, et avec une seule épine extérieure frangée et cinq soies sur le dernier article. Endopodites de la deuxième et la troisième patte avec deux soies intérieures sur le deuxième article, et dans la deuxième patte trois épines extérieures frangées et trois soies sur le troisième article, mais dans la troisième patte trois épines et seulement deux soies. Endopodite de la quatrième patte avec deux épines frangées au bout du deuxième article, l'extérieure 29 μ en longueur, l'intérieure 50 μ. Soie extérieure du basipodite de la quatrième patte distinctement plus longue que dans les pattes précédentes. Soie intérieure sur le coxopodite beaucoup plus courte que dans la troisième patte et réduite à une petite soie nue.

Cinquième patte (fig. 54) avec une soie extérieure basale 64 μ en longueur. Article libre 49 × 20 μ, son bord externe portant une rangée de petites épines. Deux soies terminales, l'extérieure 53 μ, l'intérieure 22 μ, devenant distinctement plus étroites au delà du tiers proximal. Sixième patte absente.

Rame caudale (fig. 55) presque carrée, 34 × 28 μ, portant une petite soie dorsale pédicellée, quatre soies terminales, les deux du milieu étant relativement fortement développées (l'extérieure 456 μ et l'intérieure 564 μ en longueur), et une soie modérément courte près du bord extérieur. Toutes les soies nues.

Coloration sur le vivant en lumière réfléchie, transparente. Sacs ovigères opaques. L'œil d'un rose pâle.

*Mâle.* — Conformation du corps (fig. 56) en général comme celle de la femelle. Longueur totale, y compris les rames caudales, 0,804 mm (0,756-0,852 mm), largeur 0,440 mm (0,420-0,460 mm), observation basée

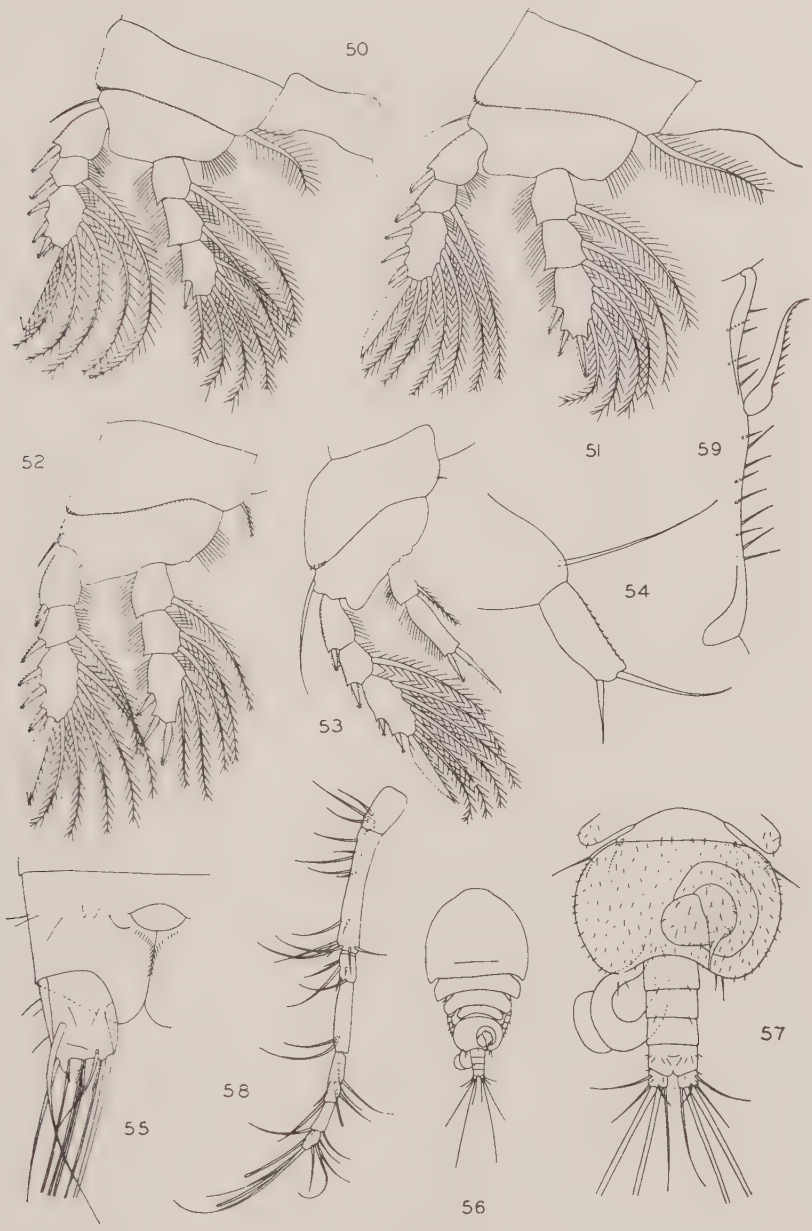



Fig. 50 à 59. — *Lichomolgus venustus* n. sp. — Femelle : 50, Première patte (F) ; 51, Deuxième patte (F) ; 52, Troisième patte (F) ; 53, Quatrième patte (F); 54, Cinquième patte (B); 55, Rame caudale, vue dorsale (B). — Mâle: 56, Vue dorsale (K) ; 57, Segment génital et abdomen, vue dorsale (E) ; 58, Première antenne (F) ; 59, Bord, intérieur du deuxième article de la deuxième antenne (I).

sur dix spécimens. Segment génital (fig. 57) 123 μ en longueur, plus gonflé que chez la femelle, 222 μ en largeur, et poilu dorsalement. Abdomen 4-segmenté, les segments 34, 25, 22, et 25 μ en longueur, et portant des poils dispersés comme sur la figure. Spermatophores deux grands sacs qui peuvent faire saillie hors du segment génital.

Première antenne (fig. 58) avec les articles comme chez la femelle. Un organe sensoriel additionel sur le sixième article.

Epine du bord interne du deuxième article de la deuxième antenne avec une rangée de petites épines (fig. 59), pas nue comme chez la femelle. Pièces buccales comme chez la femelle, excepté le maxillipède (fig. 60) qui est fortement développé avec deux soies et beaucoup de petites épines sur le deuxième article, et une longue griffe terminale portant une épine courte sur sa partie basale, comme sur la figure.

Formule des épines et des soies des pattes 1-4 comme chez la femelle. Première patte avec le dernier article de l'endopodite ayant deux épines extérieures frangées et quatre soies (fig. 61). Quatrième patte avec les deux soies terminales de l'endopodite 56 et 42 μ en longueur (fig. 62). Chez un mâle le dernier article de l'exopodite de la quatrième patte avec trois épines courtes extérieures frangées au lieu de deux.

Cinquième patte (fig. 63) très analogue à celle de la femelle, mais plus courte et un peu plus étroite, 39 × 11 μ.

Sixième patte (fig. 64) composée de deux soies, 24 et 39 μ respectivement, aux angles postérieurs latéraux du segment génital.

Rame caudale comme chez la femelle.

Coloration sur le vivant ressemblant à celle de la femelle.

Du grand nombre d'espèces de *Lichomolgus* déjà décrites (en beaucoup de cas très superficiellement connues), il n'y en a que peu qui puissent être confondues avec *L. venustus*. *L. buddhensis* (Thompson et Scott 1903) a trois épines marginales et une terminale sur le dernier article de l'exopodite de la quatrième patte et les articles 4, 5, et 6 de la première antenne sont presque de la même longueur. *L. oreastriphilus* (Kossmann 1877) est imparfaitement décrit mais il semble différer en ayant les angles des segments thoraciques finement pointus et les soies des rames caudales presque pas plus longues que l'abdomen. *L. kossmannianus* (Valle 1880) est distinctement plus élargi que *L. venustus*. *L. gracilipes* A. Scott 1909 a une cinquième patte allongée, trois fois plus longue que large, avec un renflement sur son bord interne, et le quatrième et le cinquième article de la première antenne presque égaux. *L. agilis* (Leydig 1853) paraît être voisin de *L. venustus* mais en diffère à quelques égards. Chez celui-ci les deux longues soies des rames caudales sont barbelées, le segment de la première patte se sépare distinctement de la tête par une suture, les rapports des articles 4-7 de la première antenne sont différents, la plus petite des deux

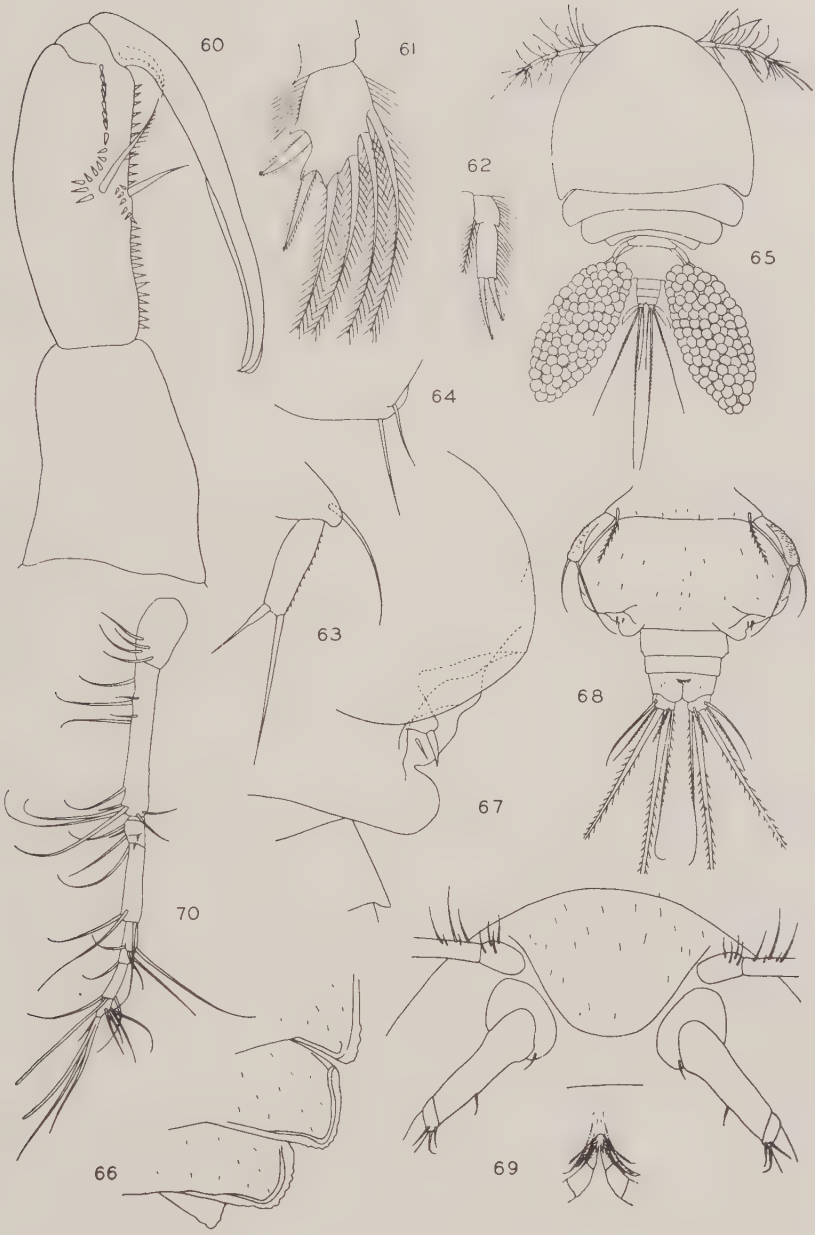



Fig. 60 à 70. — *Lichomolgus venustus* n. sp., mâle : 60, Maxillipède (B) ; 61, Dernier article de l'endopodite de la première patte (B) ; 62, Endopodite de la quatrième patte (F) ; 63, Cinquième patte (B) ; 64, Sixième patte (B). — *Lichomolgus patulus* n. sp., femelle : 65, Vue dorsale (K) ; 66, Angles postérieurs des segments thoraciques (C) ; 67, Bord du segment génital montrant le point de fixation du sac ovigère (B) ; 68, Segment génital et abdomen, vue dorsale (C) ; 69, Région orale (C) ; 70, Première antenne (E).

griffes de la deuxième antenne est relativement plus grande que chez *L. venustus*, et la cinquième patte est plus longue et plus mince (environ 3,5 fois plus longue que large contre 2,5 fois chez *L. venustus*).

*L. venustus*, n'ayant pas de coloration distincte, n'est pas très visible sur la surface bleue et orange du Nudibranche, mais les femelles à sacs ovigères blanchâtres sont évidents. Les Copépodes restent sur les hôtes dans les bocaux de récolte pendant plusieurs heures et ne nagent jamais librement. On peut les récolter en rinçant les Nudibranches dans l'eau de mer contenant de l'alcool à 5 pour cent ; ils tombent au fond du bocal.

**Lichomolgus patulus** n. sp.

*Spécimens étudiés.* — 5 femelles et 11 mâles de la surface de 5 Nudibranches, *Phyllidia trilineata* Cuvier, ayant déjà fourni l'espèce précédente, récoltés aux mêmes localités et aux mêmes jours.

Holotype femelle, allotype, et 4 paratypes (1 femelle et 3 mâles) déposés à l'I.R.S.M. à Tananarive, 4 paratypes (1 femelle et 3 mâles) au Muséum National des Etats-Unis à Washington, et les autres paratypes dans la collection de l'auteur. Tous les types du récif de corail entre Ambariotelo et Ambariobe.

*Femelle.* — Corps très élargi (fig. 65), la tête et le thorax environ aussi long que large (mesuré du bout antérieur au bord postérieur du segment de la quatrième patte). Longueur totale, y compris les rames caudales, 1,265 mm. (1,225-1,295 mm), largeur 0,853 mm (0,840-0,900 mm), observation basée sur cinq spécimens. Segment de la première patte complètement soudé à la tête. Tête et thorax avec des poils très fins dispersés sur la face dorsale. Angles postérieurs des segments thoraciques arrondis mais avec un grossissement suffisant montrant de petites crénulations (fig. 66). Segment génital 151 μ en longueur, renflé sur les côtés, environ 324 μ en largeur, avec les points de fixation des sacs ovigères (fig. 67) un peu échancrés sur les régions postérolatérales du segment et pourvus de deux petites soies. Abdomen (fig. 68) 3-segmenté, les segments, chez le spécimen dessiné, 56, 36, et 39 μ de longueur respectivement. Segments abdominaux un peu contractés chez les autres spécimens, avec le résultat que les mesures varient (par exemple, 42, 42, et 34 μ). Quelques poils dorsalement sur l'abdomen comme sur la figure. Rapport de la longueur totale du corps à la longueur de l'abdomen et des rames caudales environ 9.7 : 1.

Sacs ovigères chez les spécimens conservés formant un angle léger avec l'abdomen, chaque sac 756 × 307 (basée sur deux spécimens), contenant environ 100 œufs, et dépassant longuement l'extrémité de l'abdomen.

Rostre (fig. 69) arrondi, sa surface avec des poils dispersés.

Première antenne (fig. 70) avec huit articles, leurs longueurs (mesurées le long de leurs marges postérieures) 76, 168, 6, 24, 87, 44, 42, et 22 μ respectivement. Le troisième article très petit et vu le plus facilement le long de son bord postérieur. Un organe sensoriel sur le dernier article et sur le pénultième.

Deuxième antenne (fig. 71) 4-articulée, le premier article avec une seule soie intérieure, le deuxième avec une seule soie, le troisième avec trois soies, une d'entre elles fléchie en angle, et le dernier article avec cinq soies et deux griffes fortes, une (fig. 72) distinctement plus grande que l'autre.

Labre largement échancré au milieu (fig. 73). Mandibule (fig. 74) comme chez l'espèce précédente. Première maxille (fig. 75) très proche de celle de *L. venustus*, mais avec les processus terminaux spiniformes finement barbelés. Deuxième maxille (fig. 76). Maxillipède (fig. 77) 3-articulé, le premier article désarmé, le deuxième avec une soie intérieure modérément longue, et le troisième armé à son bout d'un petit denticule, une soie, et un processus spiniforme et un peu bulbeux près de sa base, et une épine. Région orale comme sur la fig. 69.

Rames des pattes 1-4 (figs. 78, 79, 80, et 82) 3-articulées, excepté l'endopolite de la quatrième patte qui est 2-articulé. Formule des épines et des soies comme chez *L. venustus*. Soie intérieure du coxopodite beaucoup plus courte sur la troisième patte et réduite à une très petite soie nue sur la quatrième patte. Soie extérieure du basipodite de la quatrième patte pas beaucoup plus longue que sur les pattes précédentes. Deux épines courtes distales sur le dernier article de l'endopodite de la troisième patte, nues (fig. 81). Endopodite de la quatrième patte avec deux épines frangées au bout du deuxième article, l'extérieure 26 μ en longueur, l'intérieure 41 μ. Chez une femelle l'exopodite de la quatrième patte anormal comme indiqué sur la fig. 83.

Cinquième patte (fig. 84) avec une soie extérieure 76 μ en longueur. Article libre 98 × 22 μ, son bord externe avec une rangée interrompue de petites épines et son bord interne avec une entaille presque à mi-chemin. Les deux soies terminales 112 μ et 84 μ respectivement. Sixième patte manquante.

Rame caudale (fig. 85) presque carrée, 36 × 42 μ, un peu plus large que longue, avec les soies comme chez *L. venustus*. Une rangée de très petites épines sur le bord ventral distal près des bases des deux grandes soies terminales. La plus extérieure de ces grandes soies 636 μ en longueur, la plus intérieure 864 μ. Soies barbelées comme sur la figure.

Coloration sur le vivant en lumière réfléchie, jaune pâle sur le thorax, abdomen transparent. Sacs ovigères opaques, blanchâtres. L'œil rose mais extrêmement pâle.

Fig. 71 à 84. — *Lichomolgus patulus* n. sp., femelle. — 71, Deuxième antenne (F) ; 72, La plus grande des deux griffes de la deuxième antenne (B) ; 73, Echancrure du bord du labre (B) ; 74, Mandibule (D) ; 75, Première maxille (D) ; 76, Deuxième maxille (D) ; 77, Maxillipède (D) ; 78, Première patte (E) ; 79,Deuxième patte (E) ; 80, Troisième patte (E) ; 81, Apex de l'endopodite de la troisième patte (I) ; 82, Quatrième patte (E) ; 83, Quatrième patte anormale (E) ; 84, Cinquième patte (D).

*Mâle.* — Conformation du corps (fig. 86) en général comme celle de la femelle. Longueur totale, y compris les rames caudales, 0,926 mm (0,888-0,960 mm), largeur 0,597 mm (0,576-0,612 mm), observation basée sur cinq spécimens. Segment génital (fig. 87) 182 μ en longueur, renflé, 288 μ en largeur. Abdomen 4-segmenté, les segments 25, 28, 22, et 22 μ en longueur respectivement, le dernier segment avec une rangée de petites épines le long du bord postérieur ventral. Spermatophores deux grands sacs qui font saillie hors de la partie postérieure du segment (voir figs. 86 et 87). Spermatozoïdes adhérant au bord postérieur du segment génital sur fig. 87.

Première antenne (fig. 88) avec six organes sensoriels, deux sur le deuxième article et un sur le cinquième, sixième, septième, et dernier. Rapports des articles comme chez la femelle.

Deuxième antenne (fig. 89) comme chez la femelle, mais une seule soie sur le premier et sur le deuxième article, et une des trois soies sur le troisième article barbelée. Surface intérieure du deuxième article, proximal à la soie, épineuse, pas lisse comme chez la femelle.

Parties de la bouche comme chez la femelle, excepté le maxillipède (fig. 90) qui ressemble pour la forme générale à celui de *L. venustus*.

Formule des épines et des soies des pattes 1-4 comme chez la femelle. Première patte avec le dernier article de l'endopodite ayant deux épines frangées et quatre soies (fig. 91). Le dernier article du deuxième endopodite avec trois épines et trois soies (fig. 92) et celui du troisième endopodite avec trois épines et deux soies (fig. 93) comme chez la femelle. Quatrième patte comme celle de la femelle, mais les deux soies terminales de l'endopodite un peu plus longues, 49 × 42 μ respectivement.

Cinquième patte (fig. 94) avec l'article libre plus court et plus étroit que chez la femelle, 87 × 14 μ, avec une rangée de petites épines le long du bord externe et une petite entaille presque à mi-chemin sur le bord interne. Soie terminale extérieure 76 μ en longueur, l'intérieure 45 μ. Soie basale extérieure 72 μ en longueur.

Sixième patte (fig. 95) composée de deux soies, 64 et 45 μ, sur la région postérolatérale du segment génital.

Rame caudale (fig. 96) comme chez la femelle.

Coloration sur le vivant ressemblant à celle de la femelle.

On peut facilement distinguer *L. patulus*, avec le thorax très élargi, de la plupart des espèces connues du genre. Il y a trois espèces avec lesquelles l'espèce nouvelle peut être confondue. *L. alabatensis* (Kossmann 1877), décrit d'après les notes et les esquisses de Semper, sans aucun type, reste si imparfaitement connu qu'on ne peut pas le comparer en détail, et il doit être regardé comme un *nomen nudum*. *L.*

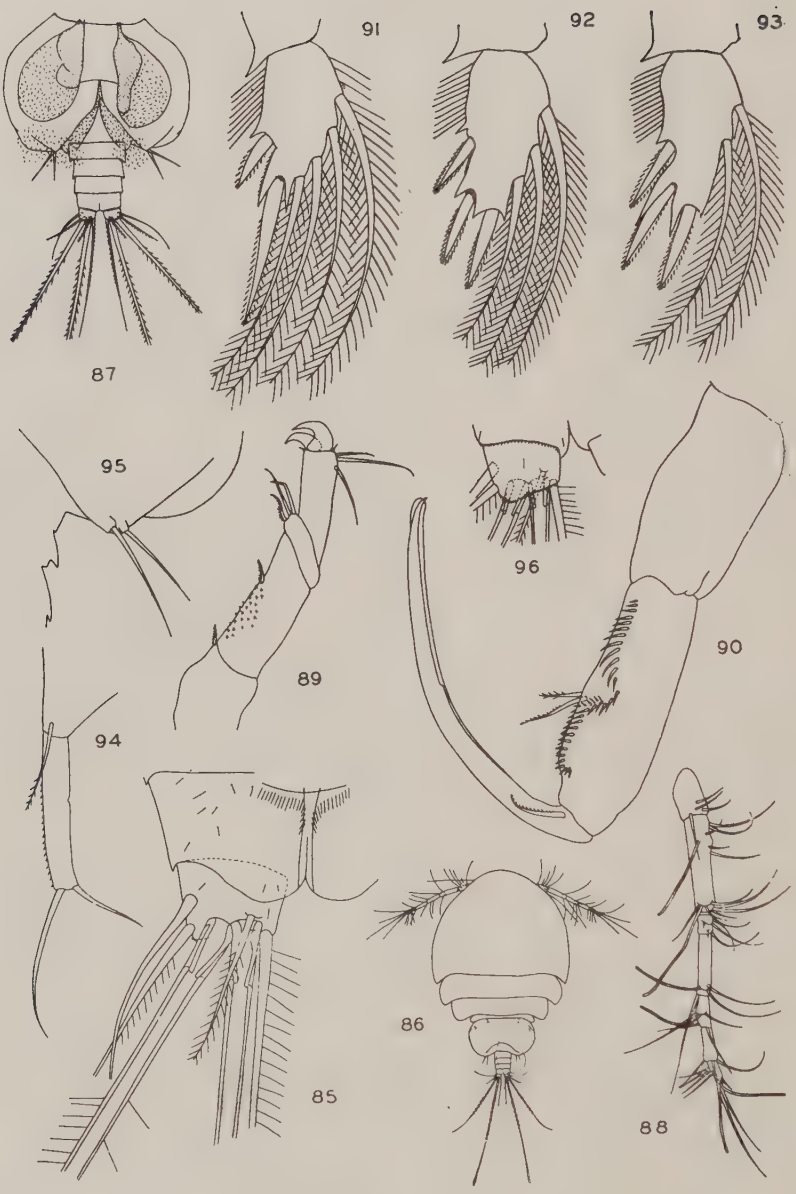



Fig. 85 à 96. — *Lichomolgus patulus* n. sp. — Femelle : 85, Rame caudale, dorsale (B). — Mâle : 86, Vue dorsale (K) ; 87, Segment génital et abdomen, vue ventrale (C) ; 88, Première antenne (E) ; 89, Deuxième antenne (F) ; 90, Maxillipède (D) ; 91, Dernier article de l'endopodite de la première patte (B) ; 92, Dernier article de l'endopodite de la deuxième patte (B) ; 93, Dernier article de l'endopodite de la troisième patte (B) ; 94, Cinquième patte (D) ; 95, Sixième patte (D) ; 96, Rame caudale, vue ventrale (B).

*kossmannianus* (Valle 1880) est plus petit. *L. orbicularis* (Monod 1928) est plus court et plus large que *L. patulus*, sa deuxième antenne a deux griffes sub-égales assez minces, le dernier article de l'exopodite de la quatrième patte a trois épines marginales et une terminale, et à la cinquième patte manque l'entaille sur le bord interne de l'article libre.

**Lichomolgus audens** n. sp.

*Spécimens étudiés.* — 88 femelles et 102 mâles de la surface de dix Nudibranches, *Platydoris scaber* (Cuvier), trouvés au-dessous des rochers et du corail exposés à marée basse près de la Station Océanographique, à Pointe à la Fièvre, le 11 juillet 1955, le long du bord à l'Ouest de Pointe Lokobe, le 8 juillet 1955, (Nossi-bé), et à Nossi Ankazoberavina, environ 35 km à l'Ouest de Nossi-bé, le 6 juillet 1955.

Holotype femelle, allotype, et 65 paratypes (30 femelles et 35 mâles) déposés à l'I.R.S.M. à Tananarive, 65 paratypes (30 femelles et 35 mâles) au Muséum National des Etats-Unis à Washington, et les autres paratypes dans la collection de l'auteur. Tous les types de Pointe à la Fièvre.

*Femelle.* — Corps avec le thorax élargi (fig. 97), la tête et le thorax environ 1,14 fois plus long que large (mesuré du bout antérieur au bord postérieur du segment de la quatrième patte). Longueur totale, y compris les rames caudales, 1,069 mm (1,020-1,128 mm), largeur 0,636 mm (0,600-0,696 mm), observation basée sur dix spécimens. Segment de la première patte complètement soudé à la tête. Thorax avec quelques poils fins sur sa face dorsale. Angles postérieurs des segments thoraciques émoussés, avec quelques petites crénulations visibles à un assez fort grossissement (fig. 98). Segment génital (fig. 99) 159 μ en longueur, renflé, environ 224 μ en largeur, avec les points de fixation des sacs ovigères (fig. 100) latéraux dans la moitié postérieure du segment et pourvus de deux petites soies. Un court sillon transverse latéral de chaque côté près du bord postérieur du segment. Abdomen 3-segmenté, les segments 42, 36, et 23 μ en longueur respectivement. Quelques poils sur la face dorsale comme sur la figure. Rapport de longueur totale du corps à la longueur de l'abdomen et des rames caudales environ 9,7:1.

Sacs ovigères chez les spécimens conservés formant un angle avec l'abdomen, chaque sac environ 629 × 216 μ (basé sur cinq spécimens), contenant environ 90 œufs (80-100), et dépassant longuement l'extrémité de l'abdomen.

Rostre (fig. 101) arrondi, sa surface avec quelques poils épars.

Première antenne (fig. 102) avec huit articles, leurs longueurs (mesurées le long de leurs marges postérieures) 42, 94, 8, 22, 52, 37, 29,

Fig. 97 à 106. — *Lichomolgus audens* n. sp., femelle. — 97, Vue dorsale (A) ; 98, Angles postérieurs des segments thoraciques (E) ; 99, Segment génital et abdomen, vue dorsale (J) ; 100, Bord du segment génital, avec la fixation d'un sac ovigère, vue dorsale (B) ; 101, Région orale (E) ; 102, Première antenne (F) ; 103, Deuxième antenne (F) ; 104, Bord du labre avec les extrémités des pièces buccales (I) ; 105, Mandibule (B) ; 106, Première maxille (B).

et 20 μ respectivement. Troisième article très petit, mais distinctement visible à son bord postérieur. Un seul organe sensoriel sur chacun des trois articles distaux.

Deuxième antenne (fig. 103) 4-articulée, le premier article avec une seule soie, le deuxième aussi avec une seule soie et avec sa surface interne épineuse, le troisième avec une épine et deux soies, et le dernier avec trois soies et deux griffes, une plus grande et plus forte que l'autre.

Labre (fig. 104) échancré au milieu, avec un groupe de petites protubérances de chaque côté proches de l'échancrure. Mandibule (fig. 105) avec un processus en forme d'écaille bordée d'épines sur la partie extérieure basale du flagelle. Première maxille (fig. 106) avec trois processus distaux spiniformes, l'un au milieu, nu. Deuxième maxille (fig. 107) comme celle de *L. venustus* et de *L. patulus*. Maxillipède (fig. 108) 3-articulé, le premier article inerme, le deuxième avec deux soies intérieures, une d'elles barbelée et très longue, s'étendant bien au-delà de l'extrémité du maxillipède, le dernier article avec une soie, une épine barbelée, et entre elles un processus assez conique qui se termine en un apex finement bifurqué. Région orale comme sur la fig. 101.

Rames des pattes 1-4 (figs. 109, 111, et 112) plus petites que chez *L. patulus*, 3-articulées, excepté l'endopodite du quatrième article qui est 2-articulé. Formule des épines et des soies comme chez *L. venustus* excepté l'exopodite de la quatrième patte qui a une formule de 1:0, 1:1, 9. Soie intérieure du coxopodite des pattes 1-3 longue et plumeuse, mais à la quatrième patte réduite à une petite soie nue. Soie extérieure du basipodite de la taille ordinaire chez les pattes 1-3, mais chez la quatrième très allongée, environ 154 μ en longueur, s'étendant même au-delà de l'extrémité de l'exopodite. Dernier article de l'exopodite de la première patte avec trois épines extérieures frangées, une épine terminale plus longue et frangée à son bord extérieur mais avec une rangée de poils à son bord intérieur, et quatre soies plumeuses ; le même article des pattes 2, 3, et 4 avec des épines semblables, mais avec cinq soies plumeuses. Endopodite de la première patte (fig. 113) avec le dernier article ayant des processus remarquablement longs, spiniformes, internes et portant une seule épine extérieure nue et cinq soie intérieures plumeuses. Endopodite de la deuxième patte ayant le dernier article armé de trois épines extérieures nues et trois soies intérieures plumeuses ; le même article de la troisième patte avec trois épines extérieures frangées et deux soies intérieures plumeuses. Endopodite de la quatrième patte avec une seule soie interne sur le premier article, et deux soies frangées à l'extrémité du deuxième article, l'extérieure 17 μ, l'intérieure 28 μ en longueur.

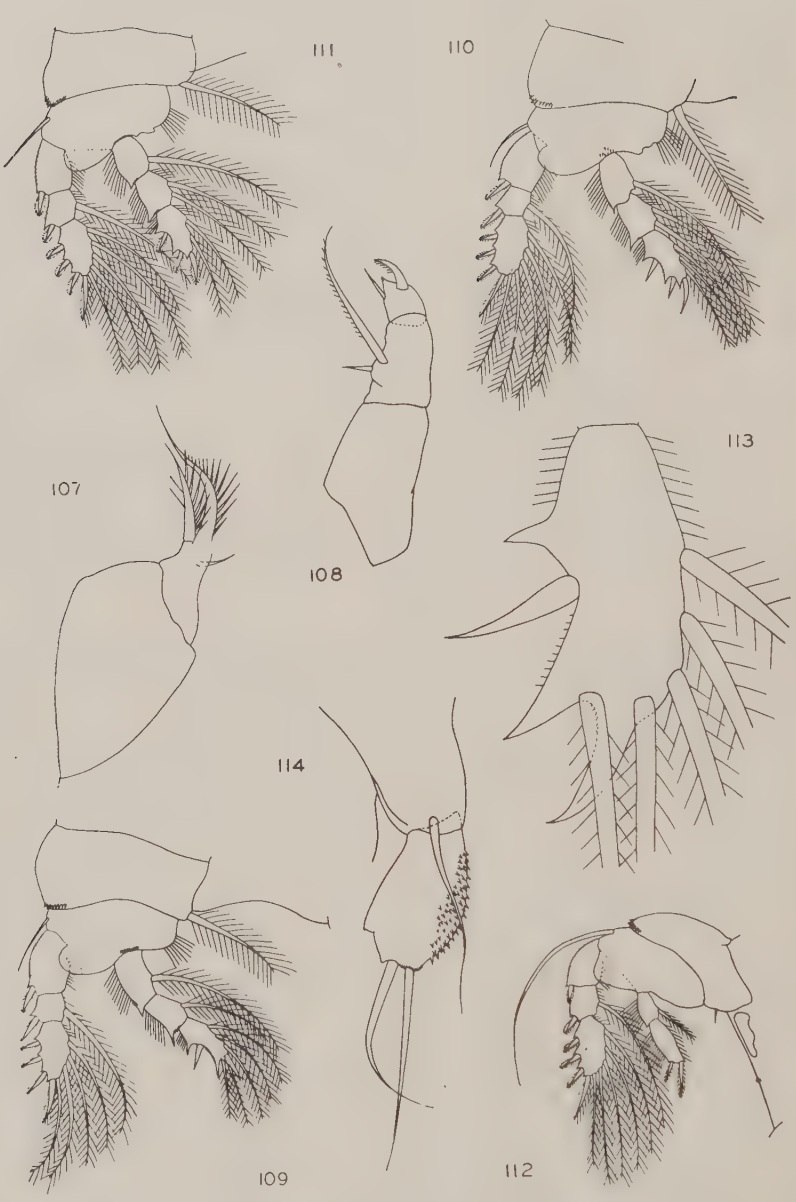



Fig. 107 à 114. — *Lichomolgus audens* n. sp., femelle. — 107, Deuxième maxille (B) ; 108, Maxillipède (B) ; 109, Première patte (F) ; 110, Deuxième patte (F) ; 111, Troisième patte (F) ; 112, Quatrième patte (F) ; 113, Dernier article de l'endopodite de la première patte (I) ; 114, Cinquième patte (D).

Cinquième patte (fig. 114) avec la soie extérieure 134 μ en longueur. Article libre 90 μ × 42 μ, le bord externe épineux, le bord interne lisse mais entaillé évidemment distalement. Les deux soies terminales 126 μ et 106 μ avec une rangée de petites épines près de leurs bases. Sixième patte absente.

Rame caudale (fig. 115) plus large que longue, 24 × 30 μ, avec ses soies arrangées comme chez *L. venustus* et *L. patulus*, et barbelées comme sur la figure. La plus interne des deux longues soies 564 μ en longueur, l'intérieure 756 μ.

Coloration sur le vivant en lumière transmise, transparente, l'ovaire et les sacs ovigères opaques, l'œil rouge.

*Mâle*. — Forme du corps (fig. 116) semblable à celle de la femelle. Longueur totale, y compris les rames caudales, 0,767 mm (0,708-0,804 mm), largeur 0,433 mm (0,396-0,456 mm), observation basée sur dix spécimens. Segment génital (fig. 117) pas aussi arrondi latéralement que chez la femelle, mais avec les côtés plus droits. Vu latéralement (fig. 118) le segment génital apparaît assez gonflé. Abdomen 4-segmenté, les segments 25, 25, 17, et 14 μ de long, respectivement (mesurés le long d'un bord). Spermatophores en deux grands sacs qui font saillie de la partie postérieure du segment génital comme sur les figs. 117 et 119.

Première antenne comme celle de la femelle. Deuxième antenne aussi comme chez la femelle, mais avec la seule soie du premier et du deuxième article barbelée le long d'un bord, et avec un groupe de petites épines sur la surface intérieure distale du quatrième article.

Pièces buccales comme chez la femelle, excepté le maxillipède (fig. 120) qui a une longue griffe terminale. Un groupe d'épines le long du deuxième article.

Formule des épines et des soies comme chez la femelle. Soie interne du coxopodite et soie externe du basipodite comme chez la femelle, mais la soie du basipodite sur la quatrième patte pas tout à fait aussi longue que chez la femelle. Endopodite de la première patte avec le dernier article (fig. 121) ayant deux épines frangées et quatre soies. Dernier article de l'endopodite de la deuxième patte (fig. 122) avec trois épines frangées (pas nues comme chez la femelle) et trois soies. Deux soies frangées sur l'endopodite de la quatrième patte 20 μ et 31 μ de long, respectivement.

Cinquième patte (fig. 123) avec la soie basale 64 μ de long. Article libre allongé et étroit, 59 × 17 μ, avec une rangée de petites épines le long des deux bords et des deux soies terminales, l'extérieure 73 μ en longueur, l'intérieure 70 μ.

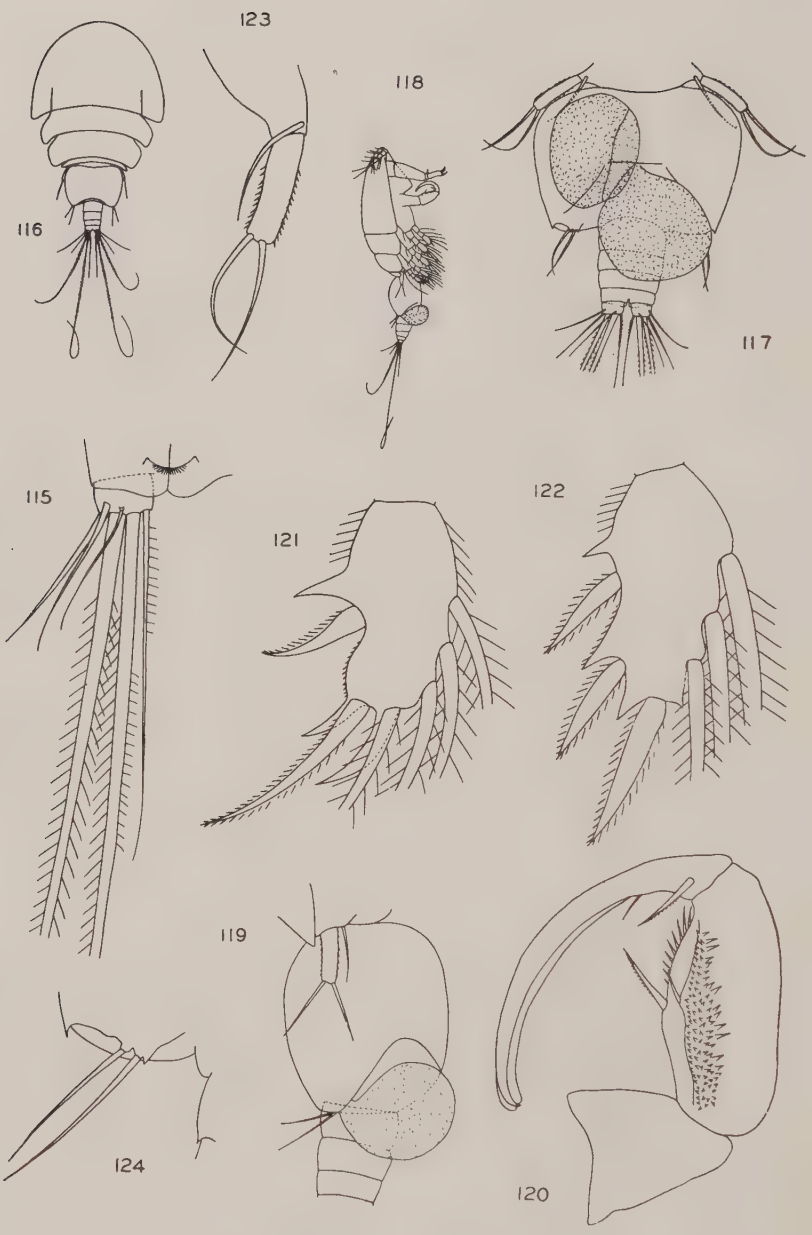



Fig. 115 à 124. — *Lichomolgus audens* n. sp. — Femelle : 115, Rame caudale vue dorsale (D). — Mâle : 116, Vue dorsale (A) ; 117, Segment génital et abdomen, vue ventrale (E) ; 118, Vue latérale (A) ; 119, Segment génital, vue latérale (F) ; 120, Maxillipède (B) ; 121, Dernier article de l'endopodite de la première patte (I) ; 122, Dernier article de l'endopodite de la deuxième patte (I) ; 123, Cinquième patte (D) ; 124, Sixième patte (B).

Sixième patte (fig. 124) composée de deux soies, 64 et 59 μ de long, situées sur les régions postérolatérales du segment génital.

Rame caudale tout comme chez la femelle.

Coloration semblable à celle de la femelle.

On peut distinguer *L. audens* des autres espèces de *Lichomolgus* dans lesquelles le thorax est notablement élargi par la structure de la cinquième patte. L'espèce nouvelle ressemble un peu à *L. orbicularis* (Monod 1928), mais cette espèce a un thorax plus élargi, le premier et le deuxième article de la deuxième antenne sont inermes, le dernier article de l'endopodite de la première patte de la femelle ne montre pas les prolongements latéraux spiniformes et il a une armature différente (4 soies, 3 vraies épines latérales, et 1 vraie épine terminale), et l'abdomen de la femelle est 4-segmenté.

On peut voir ces Copépodes à l'œil nu sur la surface de l'hôte. En bocaux d'eau de mer au laboratoire les Copépodes restent sur les Nudibranches et ne nagent pas librement.

Les Nudibranches, avec les Copépodes attachés, habitent les crevasses au-dessous des rochers. Ces trous sont toujours mouillés, même à marée basse. L'humidité suffit apparemment pour la survivance des Copépodes entre les marées.

**Lichomolgus asaphidis** n. sp.

*Spécimens étudiés.* — 91 femelles et 90 mâles de la cavité du manteau de 163 Pélécypodes, *Asaphis rugosa* Lamarck, enfouis dans le sable boueux près de la ligne de marée haute parmi les racines de palétuvier blanc entre le village d'Ambanoro et Pointe Lokobe, Nossi-bé, le 3 juillet 1955. 4 femelles de 2 Pélécypodes, *Standella solanderi* Gray, de la même localité.

Holotype femelle, allotype, et 60 paratypes (30 femelles et 30 mâles) déposés à l'I.R.S.M. à Tananarive, 60 paratypes (30 femelles et 30 mâles) au Museum National des Etats-Unis à Washington, et les autres paratypes dans la collection de l'auteur.

*Femelle.* — Corps cyclopoïde (fig. 125), le thorax pas très élargi, la tête et le thorax environ 1,65 fois plus long que large (mesuré du bout antérieur au bord postérieur du segment de la quatrième patte). Longueur totale, y compris les rames caudales, 1,323 mm (1,260-1,365 mm), largeur 0,462 mm (0,455-0,490 mm), observation basée sur dix spécimens. Région du rostre un peu saillante. Segment de la première patte incomplètement soudé à la tête. Surface dorsale du thorax lisse. Bords des segments thoraciques arrondis. Segment génital (fig. 126) allongé, 182 × 151 μ, plus étroit dans sa moitié postérieure, avec les points de fixa-

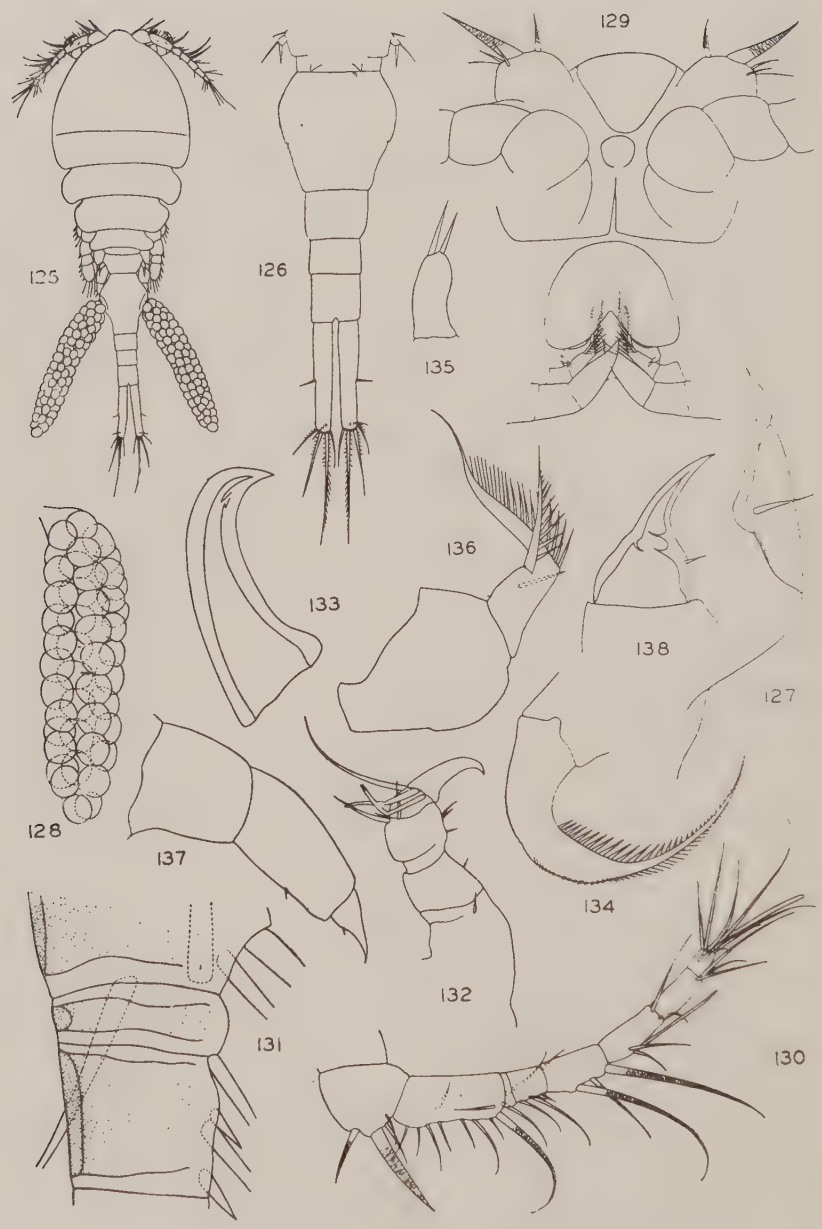



Fig. 125 à 138. — *Lichomolgus asaphidis* n. sp., femelle. — 125, Vue dorsale (A) ; 126, Segment génital et abdomen, vue ventrale (C) ; 127, Bord du segment génital avec la fixation d'un sac ovigère, vue dorsale (B) ; 128, Sac ovigère (C) ; 129, Région orale (F) ; 130, Première antenne (F) ; 131, Troisième et quatrième article de la première antenne (I) ; 132, Deuxième antenne (F) ; 133, Griffe à l'apex de la deuxième antenne (H) ; 134, Mandibule (B) ; 135, Première maxille (B) ; 136, Deuxième maxille (B) ; 137, Maxillipède (B) ; 138, Apex du maxillipède (I).

tion des sacs ovigères (fig. 127) près du milieu du segment et armé d'une seule soie. Abdomen 3-segmenté, les segments 70, 56 et 78 μ respectivement, sans ornementation. Rapport de la longueur totale à la longueur de l'abdomen et des rames caudales 4,1:1.

Sacs ovigères (fig. 128) chez les spécimens conservés portés à un angle faible de l'abdomen, chaque sac 707 × 148 μ (basé sur cinq spécimens), contenant environ 75 œufs, et atteignant l'extrémité des rames caudales ou les dépassant un peu.

Rostre (fig. 129) assez triangulaire, apex largement arrondi, sa surface inerme.

Première antenne (fig. 130) avec huit articles, leurs longueurs (mesurées le long de leurs marges postérieures) 24, 72, 7, 24, 51, 51, 43, et 22 μ respectivement. Le troisième article (fig. 131) minuscule mais distinct. Une des soies sur le premier article extraordinairement forte. Un organe sensoriel sur le sixième et sur le dernier article.

Deuxième antenne (fig. 132) 4-articulée, le premier et le deuxième article avec une seule petite soie, le troisième avec trois petites soies intérieures et trois soies extérieures distales, et le dernier avec une seule griffe forte de 57 μ de long (fig. 133) et trois soies longues, deux d'entre elles fléchies avec leurs extrémités finement bifurquées.

Labre avec une large entaille en forme de V au milieu. Mandibule (fig. 134) avec un flagelle bilatéralement pectiné. Première maxille (fig. 135) avec deux soies terminales. Deuxième maxille (fig. 136) avec deux rames unilatéralement pectinées, une d'elles anguleusement fléchie, et une petite soie à la base. Maxillipède (fig. 137) apparemment 3-articulé, le troisième article formant la base élargie de l'unique processus terminal spiniforme (fig. 138) et ayant une petite soie sur son bord interne. Une petite soie semblable sur le bord interne du deuxième article. Le premier article inerme. Région orale comme sur la fig. 129.

Rames des pattes 1-4 (fig. 139, 141, 142, et 143) 3-articulées sauf l'endopodite de la quatrième patte qui est 2-articulé. Formule des épines et des soies comme chez *L. venustus*. Soie plumeuse du coxopodite des pattes 1-3 réduite chez la quatrième patte à une petite soie nue. Soie extérieure du basipodite identique sur les quatre pattes. Le dernier article de l'exopodite des pattes 1-3 avec trois épines latérales gladiolées (fig. 140), mais celui de la quatrième patte avec seulement deux épines semblables. Le même article des pattes 1-4 avec une seule épine terminale semi-gladiolée. Le même article de la première patte avec quatre soies intérieures plumeuses, mais celui des pattes 2-4 avec cinq soies semblables. Dernier article de l'endopodite de la première patte avec une épine extérieure gladiolée et cinq soies, celui de la deuxième patte avec trois épines gladiolées et trois soies, et celui de la troisième patte avec trois épines et deux soies. Endopodite de la quatrième patte

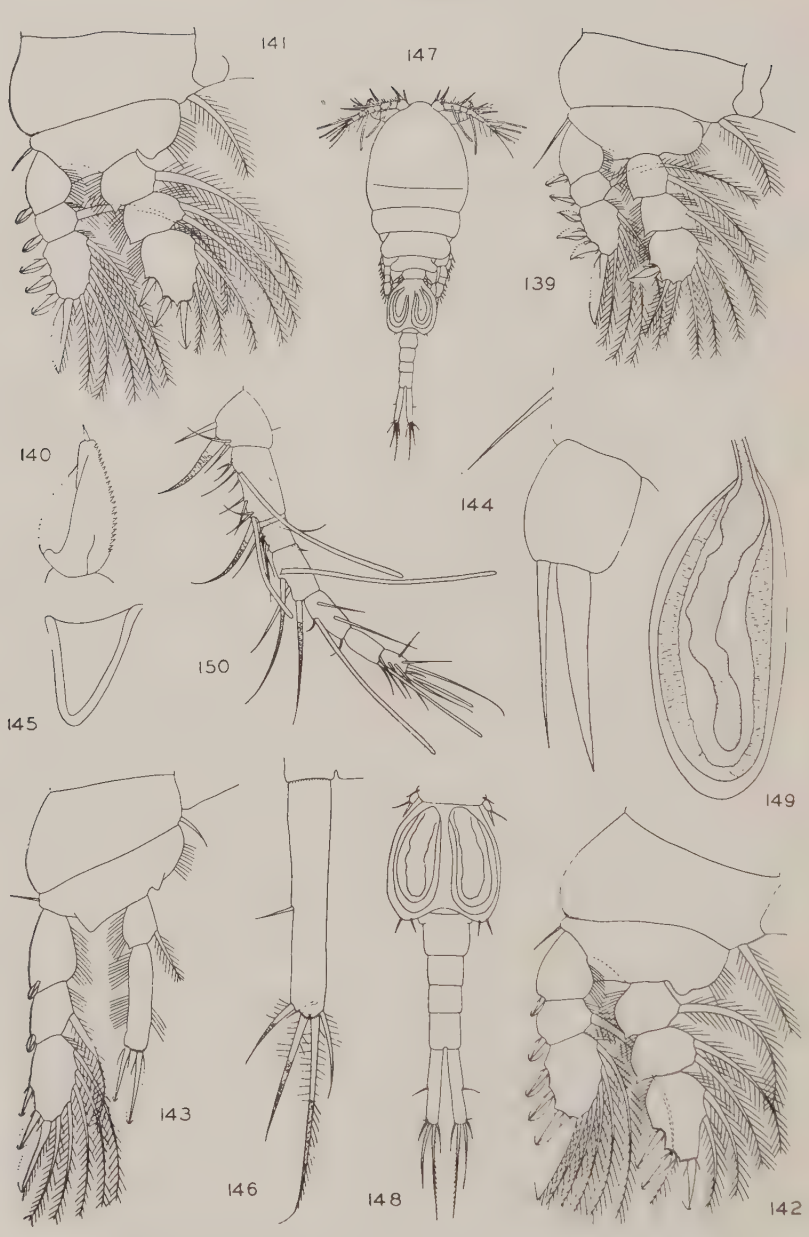



Fig. 139 à 150. — *Lichomolgus asaphidis* n. sp. — Femelle : 139, Première patte (F) ; 140, Troisième épine marginale du troisième article de l'exopodite de la première patte (I) ; 141, Deuxième patte (F) ; 142, Troisième patte (F) ; 143, Quatrième patte (F) ; 144, Cinquième patte (I) ; 145, Une des épines entre les cinquièmes pattes (I) ; 146, Rame caudale (F). — Mâle : 147, Vue dorsale (A) ; 148, Segment génital et abdomen, vue ventrale (C) ; 149, Spermatophore (D) ; 150, Première antenne (F).

avec une soie plumeuse sur l'angle intérieur distal du premier article. Deuxième article allongé, 74 × 24 μ, environ trois fois la longueur du premier, avec deux soies gladiolées terminales, l'extérieure 42 μ et l'intérieure 54 μ de long.

Cinquième patte (fig. 144) petite, l'article libre 20 × 13 μ, avec deux soies inégales terminales, l'extérieure mince, 26 μ de long, l'intérieure forte, 36 μ. Soie extérieure de la base 20 μ de long. Entre et derrière les bases des cinquième pattes deux épines larges (fig. 126), chacune environ 13 μ de long et bien sclérifiée (fig. 145). Sixième patte absente.

Rame caudale (fig. 146) allongée, 176 × 31 μ avec une soie 28 μ en longueur près du milieu du bord externe, quatre soies terminales 49, 90, 134, et 52 μ respectivement, et une petite soie dorsale pédicellée 24 μ de long.

Coloration sur le vivant en lumière réfléchie, transparente, l'œil d'un rouge pâle, l'ovaire opaque, les sacs ovigères blanchâtres.

*Mâle.* — Conformation du corps (fig. 147) comme celle de la femelle. Longueur totale, y compris les rames caudales, 1,029 mm (0,936-1,152 mm), largeur 0,325 mm (0,288-0,348 mm), observation basée sur dix spécimens. Segment génital (fig. 148) 172×190 μ, presque carré. Abdomen 4-segmenté, les segments 72, 49, 42, et 54 μ de long, respectivement. Spermatophores (fig. 149), visibles dans le segment génital, chacun environ 160 × 70 μ.

Première antenne (fig. 150) avec les articles comme chez la femelle. Deux organes sensoriels sur le deuxième et un sur le cinquième, sixième, septième, et dernier article.

Deuxième antenne comme chez la femelle. Pièces buccales comme chez la femelle excepté le maxillipède (fig. 151) qui a une longue griffe terminale avec une soie à sa base. Deuxième article avec une rangée de petites épines le long de son bord interne et portant deux soies, une d'elles forte et inégalement bifurquée à l'apex (fig. 152).

Formule des épines et des soies des pattes 1-4 comme chez la femelle. Première patte comme celle de la femelle, mais la seule épine sur le dernier article de l'endopodite (fig. 153) assez modifiée comme sur les figs 154 et 155. Endopodite de la deuxième patte (fig. 156) avec les deux dernières épines (du groupe de trois épines) modifiées, irrégulièrement gonflées ou bifurquées (fig. 157). Epines et soies des pattes 3 et 4 pas modifiées et comme celles de la femelle. Les deux soies terminales de l'endopodite de la quatrième patte 50 μ et 36 μ en longueur.

Cinquième patte (fig. 158) comme celle de la femelle, l'article libre 18 × 12 μ.

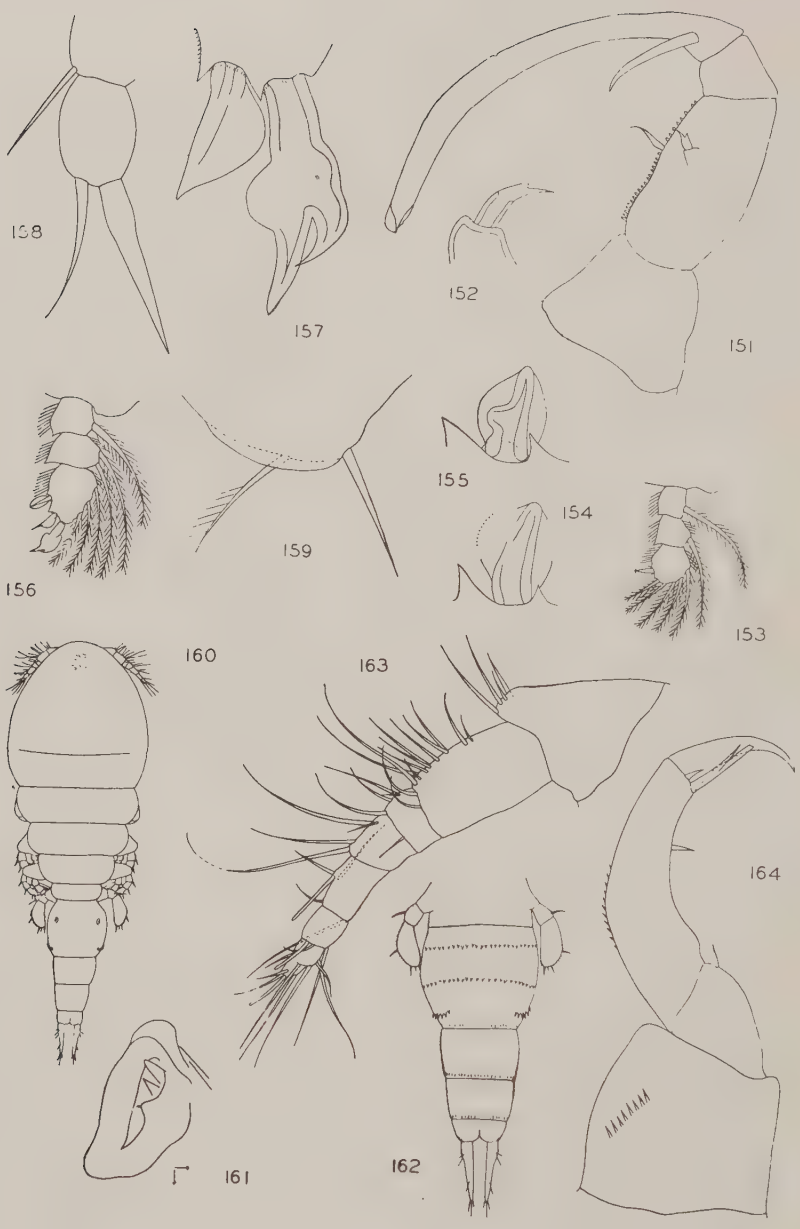



Fig. 151 à 164. — *Lichomolgus asaphidis* n. sp., mâle : 151, Maxillipède (B) ; 152, Epine bifurquée sur le deuxième article du maxillipède (I) ; 153, Endopodite de la première patte (F) ; 154, Epine sur le troisième article de l'endopodite de la première patte (I) ; 155, Id. (I) ; 156, Endopodite de la deuxième patte (F) ; 157, Deux épines modifiés à l'apex de l'endopodite de la deuxième patte (I) ; 158, Cinquième patte (I) ; 159, Sixième patte (I). — *Ostrincola clavator* n. sp., femelle : 160, Vue dorsale (A) ; 161, Fixation d'un sac ovigère, vue dorsale, les flèches indiquant les directions extérieures et postérieures (I) ; 162, Segment génital et abdomen, vue ventrale (C) ; 163, Première antenne (B) ; 164, Deuxième antenne (B).

Sixième patte (fig. 159) composée d'une lamelle saillante à l'angle postérieur du segment génital, portant deux soies, toutes les deux environ 25 μ en longueur.

Rame caudale comme chez la femelle.

Coloration sur le vivant semblable à celle de la femelle.

*L. asaphidis* ressemble surtout à *L. spondyli* Yamaguti 1936. Cette espèce a été trouvée dans la cavité du manteau de *Spondylus japonicus* Kuroda au Japon. La femelle diffère de celle de l'espèce malgache par sa plus grande taille, l'absence d'une longue épine terminale sur le dernier article de l'exopodite des pattes 1-4, la structure étroitement gladiolée des épines de ces pattes, l'arrangement des soies sur la deuxième antenne et la grande taille de sa griffe (environ 100 μ), et les rames caudales un peu plus larges (160-170 × 50 μ). Le mâle reste inconnu.

Les femelles de *L. asaphidis* perdent leurs sacs ovigères rapidement quand on les tue en alcool fort, mais elles les gardent si on les anesthésie lentement à l'alcool goutte à goutte dans l'eau de mer. Quand elles nagent en bocal au laboratoire, les sacs ovigères sont tenus parallèles au corps, mais quand les Copépodes se reposent, les sacs prennent une position presque à angle droit avec l'abdomen.

Les spécimens d'*Asaphis rugosa* dans lesquels ces nouveaux Copépodes ont été trouvés habitaient le sable à quelques mètres des *Pinna muricata* dans lesquels l'*Anthessius pinnae* (décrit ci-dessus) existait. Malgré cette proximité les deux espèces de Copépodes n'ont été trouvés que dans les hôtes cités. Il paraissent avoir une préférence très précise pour leurs deux Pélécypodes respectifs.

**Modiolicola trabalis** n. sp.

*Spécimens étudiés.* — 4 femelles et 1 mâle de la cavité du manteau de 490 Pélécypodes, *Arca decussata* Sowerby, trouvés au-dessous des rochers et du corail exposés à marée basse sur la plage entre la Station Océanographique et la Pointe à la Fièvre, Nossi-bé, le 25 juillet 1955.

Holotype femelle, allotype, et un paratype déposés à l'I.R.S.M. à Tananarive, un paratype au Muséum National des Etats-Unis à Washington, et l'autre paratype dans la collection de l'auteur.

*Femelle.* — Corps lichomolgoïde (fig. 250), un peu élargi. Longueur totale, y compris les rames caudales, 0,828 mm (0,804-0,864 mm), largeur 0,328 mm (0,324-0,336 mm), observation basée sur les quatre spécimens. Segment de la première patte séparé de la tête par un sillon dorsal. Angles postérieurs des segments thoraciques arrondis. Segment génital chez un spécimen pas très renflé. Ce segment, après dissection

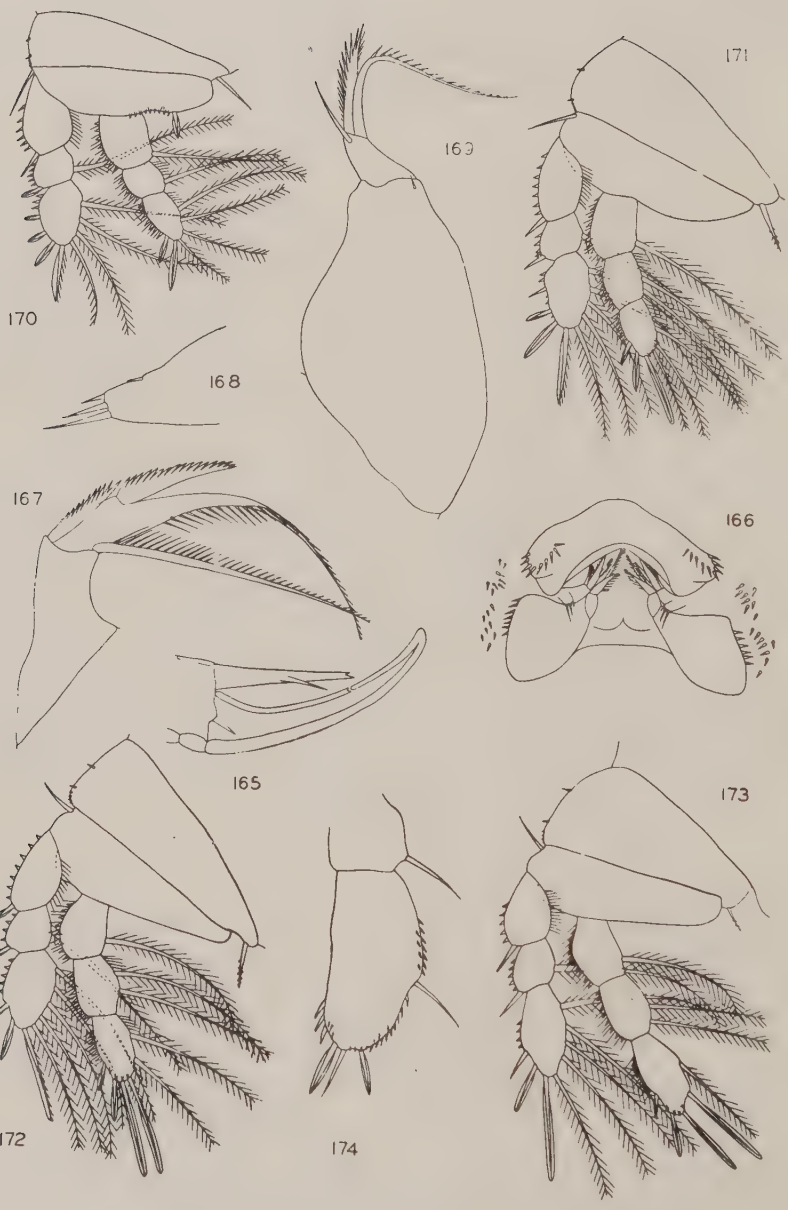



Fig. 165 à 174. — *Ostrincola clavator* n. sp., femelle. — 165, Apex de la deuxième antenne (I) ; 166, Région orale (F) ; 167, Mandibule (I) ; 168, Première maxille (I) ; 169, Deuxième maxille (H) ; 170, Première patte (D) ; 171, Deuxième patte (D) ; 172, Troisième patte (D) ; 173, Quatrième patte (D) ; 174, Cinquième patte (B).

et sous une légère pression, sensiblement plus large que long, 96 × 130 μ (fig. 251), les points de fixation des sacs ovigères (fig. 252) situés dorsalement et armés de deux petites épines. Abdomen 3-segmenté, les segments 34, 36, et 42 μ de long respectivement. Segment génital et les segments abdominaux avec une rangée transverse ventrale de petites épines minces au bord postérieur, excepté le dernier segment qui a seulement quelques très petites épines ventralement près des bases des rames caudales.

Sacs ovigères inconnus.

Rostre pas développé. Première antenne (fig. 253) avec sept articles, leurs longueurs (mesurées le long de leurs marges postérieures) 12, 42 18, 42, 35, 25, et 18 μ respectivement. Deux organes sensoriels sur l'article antépénultième.

Deuxième antenne (fig. 254) 4-articulée, les longueurs des articles (mesurées le long du bord externe) 28, 59, 45, et 39 μ en commençant par la base. Les deux premiers articles avec une seule soie, le troisième avec deux soies, et le dernier avec trois épines courbées et trois soies.

Mandibule (fig. 255) avec un flagelle bipectiné. Première maxille (fig. 256) avec deux soies. Deuxième maxille (fig. 257) avec une soie nue près de la base du bout unilatéralement pectiné. Maxillipède (fig. 258) 3-articulé, sans soies, le deuxième article allongé, le troisième atténué vers son bout.

Rames des pattes 1-4 avec trois articles. Formule des épines et des soies de ces pattes comme suit :

| | 1re PATTE | | 2e PATTE | | 3e PATTE | | 4e PATTE | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *exp.* | *end.* | *exp.* | *end.* | *exp.* | *end.* | *exp.* | *end.* |
| 1er article ..... | 1:0 | 0:1 | 1:0 | 0:1 | 1:0 | 0:1 | 1:0 | 0:1 |
| 2e article ..... | 1:1 | 0:1 | 1:1 | 0:2 | 1:1 | 0:2 | 1:1 | 0:1 |
| 3e article ..... | 8 | 5 | 9 | 6 | 9 | 6 | 8 | 2 |

Première patte (fig. 259) avec 4 épines frangées et 4 soies plumeuses sur le dernier article de l'exopodite et 1 épine et 4 soies sur cet article de l'endopodite. Angles distaux externes des deux premiers articles de l'endopodite formant de grands processus spiniformes. Deuxième patte (fig. 260) semblable à la première, excepté 4 épines et 5 soies sur le dernier article de l'exopodite, et 3 épines et 3 soies sur celui de l'endopodite. Deux soies internes sur le deuxième article de l'endopodite. Troisième patte (fig. 261) semblable à la deuxième, mais avec 4 épines et 2 soies sur le dernier article de l'endopodite. Quatrième patte (fig. 262) avec la soie interne du coxopodite petite et nue. Avec 3 épines et 5 soies sur le dernier article de l'exopodite, et 2 épines (17 μ et 32 μ en longueur) sur cet article de l'endopodite. Deuxième article de l'endopodite avec une seule soie interne.

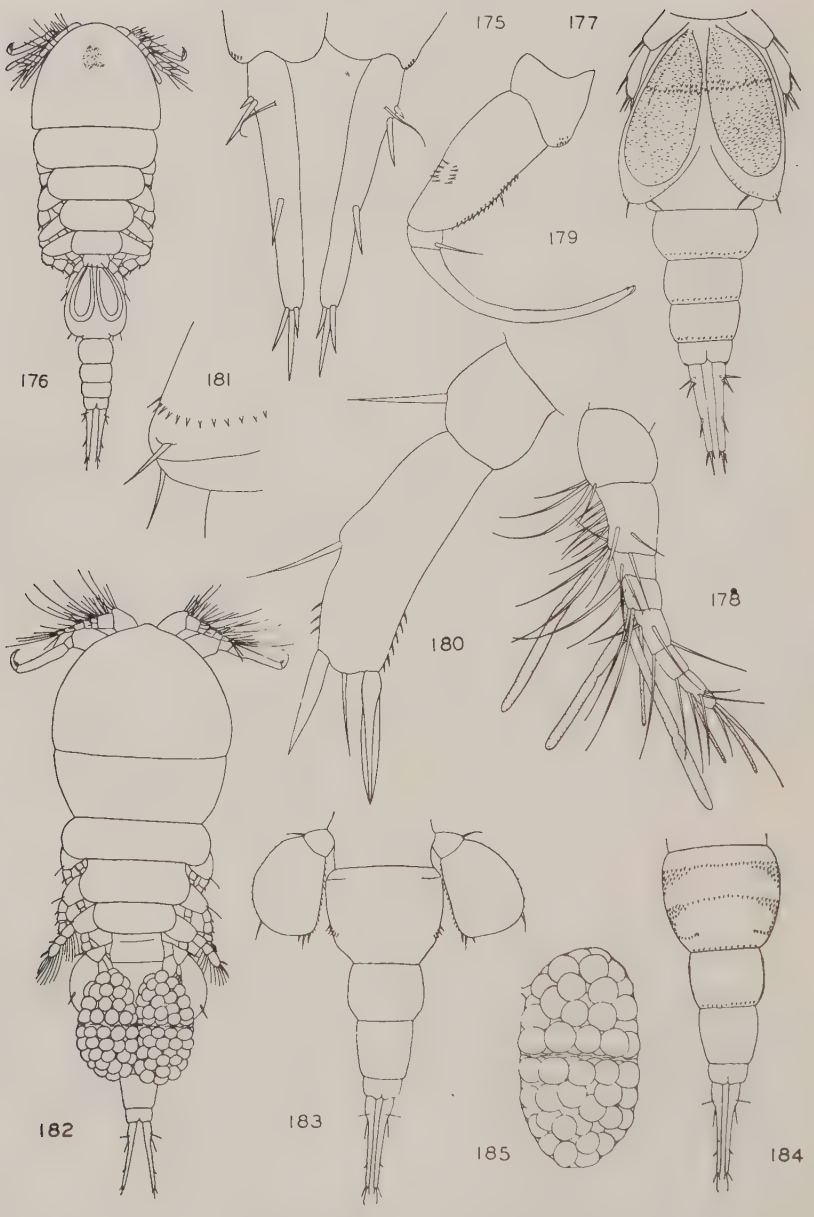



Fig. 175 à 185. — *Ostrincola clavator* n. sp. — Femelle : 175, Rames caudales, vue dorsale (B). — Mâle : 176, Vue dorsale (C) ; 177, Segment génital et abdomen, vue ventrale (F) ; 178, Première antenne (B) ; 179, Maxillipède (B) ; 180, Cinquième patte (I) ; 181, Sixième patte (I). — *Ostrincola simplex* n. sp., femelle : 182, Vue dorsale (C) ; 183, Segment génital et abdomen, vue dorsale (E) ; 184, Segment génital et abdomen, vue ventrale (E) ; 185, Sac ovigère (F).

Cinquième patte (fig. 263) d'un seul article 30 × 9 μ, portant distalement une soie mince de 24 μ de long et une soie modifiée forte de 42 μ de long et 6 μ de large à sa base, devenant plus mince vers l'apex et se terminant en pointe arrondie. Une rangée de très petites épines sur un bord près de l'apex de cette soie modifiée.

Rame caudale (fig. 264) allongée, 109 × 18 μ, avec une soie dorsale 19 μ à mi-chemin de sa longueur, sub-terminalement une soie mince 20 μ, et à son bout quatre soies 24, 65, 38, et 21 μ respectivement en commençant par la plus intérieure. Toutes les soies nues.

Coloration sur le vivant inconnue.

*Mâle.* — Conformation du corps (fig. 265) en général comme celle de la femelle. Longueur du seul spécimen 0, 780 mm, largeur 0,240 mm. Segment génital plus large que long, 106 × 131 μ, portant à chaque angle postérieur les deux soies de la sixième patte (fig. 268). Abdomen 4-segmenté, les segments 36, 36, 33, et 41 μ respectivement. Maxillipède (fig. 266) 4-articulé, le deuxième article allongé et ayant deux petites soies et deux rangées de très petites épines sur sa surface intérieure. Le troisième article court et le quatrième une très longue griffe mince armée d'une soie près de sa base.

Cinquième patte (fig. 267) avec un seul article 22 × 11 μ. La soie modifiée au bout de cet article relativement plus longue et plus atténuée que de la femelle. La rangée d'épines le long de son bord plus marquante. Sixième patte (fig. 268) de deux soies.

Les autres appendices, dans la mesure où ils sont connus, semblables à ceux chez la femelle. Coloration inconnue.

Le seul mâle, qui est l'allotype, n'a pas été disséqué, excepté le maxillipède d'un côté.

*M. trabalis* diffère de *M. insignis* Aurivillius 1882, *M. inermis* Canu 1892, *M. jamaicensis* Wilson 1921, et *M. gracilis* Wilson 1935 par la structure du dernier article du maxillipède de la femelle et par la forme de la grande soie sur le bout de la cinquième patte.

## *ERGASILIDAE*

**Ostrincola clavator** n. sp.

*Spécimens étudiés.* — 49 femelles et 66 mâles de la cavité du manteau de 232 Huîtres, *Ostrea* sp., attachées aux rochers exposés à marée basse en face de la Station Océanographique à Nossi-bé, le 30 juin 1955.

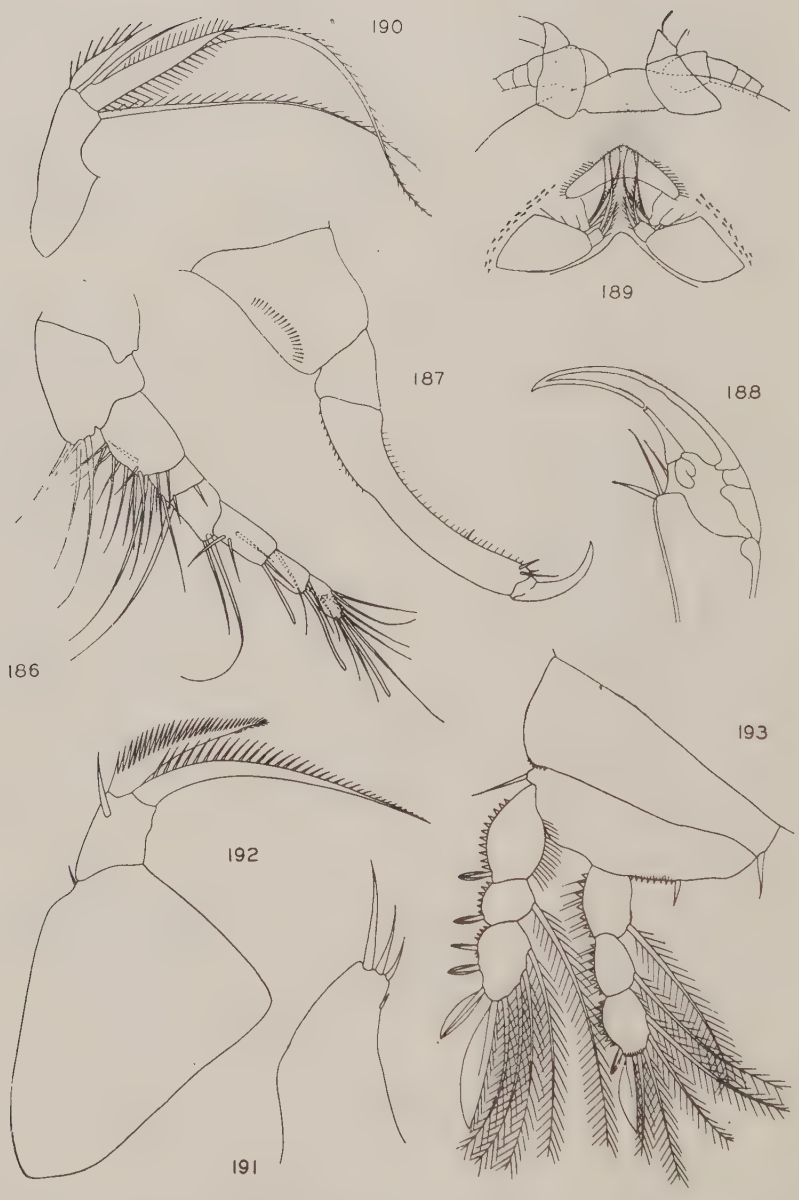



Fig. 186 à 193. — *Ostrincola simplex* n. sp., femelle. — 186, Première antenne (B) ; 187, Deuxième antenne (B) ; 188, Apex de la deuxième antenne (I) ; 189, Région orale (F) ; 190, Mandibule (I) ; 191, Première maxille (I) ; 192, Deuxième maxille (I) ; 193, Première patte (B).

Holotype femelle, allotype, et 35 paratypes (15 femelles et 20 mâles) déposés à l'I.R.S.M. à Tananarive, 35 paratypes (15 femelles et 20 mâles) au Muséum National des Etats-Unis à Washington, et les autres paratypes dans la collection de l'auteur.

*Femelle.* — Corps cyclopoïde (fig. 160). Longueur totale, y compris les rames caudales, 1,098 mm (1,068-1,152 mm), largeur 0,318 mm (0,300-0,348 mm), observation basée sur dix spécimens. Segment de la première patte assez indistinctement séparé de la tête par un sillon transverse. Quelques poils dispersés sur la surface dorsale de la tête et du thorax. Angles postérieurs des segments thoraciques arrondis. Segment génital bien individualisé, pas très gonflé, un peu plus long que large, environ 148 × 151 μ. Points de fixation des sacs ovigères dorsolatéraux sur la partie antérieure du segment et chacun avant deux très petits processus spiniformes (fig. 161). Surface ventrale du segment génital (fig. 162) avec deux rangées transverses d'épines, deux rangées courtes sur les régions extérieures postérieures, et une rangée transverse de très petites épines le long de son bord postérieur. Abdomen 3-segmenté, les segments 70, 56, et 36 μ respectivement, le dernier article le plus court. Une rangée transverse de très petites épines le long des bords postérieurs du premier et du deuxième article de l'abdomen, et quelques petites épines sur les angles externes postérieurs du troisième. Sac ovigère inconnu.

Rostre pas saillant. Première antenne (fig. 163) avec sept articles, leurs longueurs (mesurées le long de leur marges postérieures) 24, 36, 10, 12, 23, 13, et 16 μ respectivement. Un organe sensoriel sur chacun des trois derniers articles.

Deuxième antenne (fig. 164) 3-articulée, le troisième article allongé et un peu arqué, avec une seule soie courte sur son bord interne et portant distalement une griffe recourbée très forte (fig. 165), un processus allongé bifurqué au bout, et une petite épine.

Labre (fig. 166) large, avec une rangée recourbée d'épines de chaque côté et largement échancré postérieurement. Mandibule (fig. 167) avec à l'apex une soie courte unilatéralement pectinée et deux soies longues, la plus extérieure plus forte basalement et portant une soie courte accessoire. Première maxille (fig. 168) très petite avec trois soies terminales, et une très petite soie subterminale (pas facilement visible). Deuxième maxille (fig. 169) avec un grand article basal portant une très petite soie extérieure distale, le deuxième article petit, ayant distalement trois soies comme sur la figure. Maxillipède manquant.

Rames des pattes 1-4 avec trois articles. Formule des épines et des soies comme suit :

| | 1re PATTE | | 2e PATTE | | 3e PATTE | | 4e PATTE | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *exp.* | *end.* | *exp.* | *end.* | *exp.* | *end.* | *exp.* | *end.* |
| 1er article ..... | 1:0 | 0:1 | 1:0 | 0:1 | 1:0 | 0:1 | 1:0 | 0:1 |
| 2e article ..... | 1:1 | 0:1 | 1:1 | 0:2 | 1:1 | 0:2 | 1:1 | 0:2 |
| 3e article ..... | 8 | 6 | 9 | 6 | 8 | 6 | 8 | 5 |

Première patte (fig. 170) avec une épine intérieure sur le basipodite ; avec sur le dernier article de l'exopodite trois épines extérieures gladiolées, une épine semi-gladiolée terminale, et quatre soies plumeuses intérieures. Deuxième patte (fig. 171) sans épine intérieure au basipodite ; avec sur le dernier article de l'exopodite trois épines extérieures, une terminale, et cinq soies intérieures ; et avec sur le dernier article de l'endopodite trois épines extérieures et trois soies intérieures. Troisième patte (fig. 172) comme la deuxième patte mais avec seulement deux épines extérieures sur le dernier article de l'exopodite et avec sur le dernier article de l'endopodite la soie la plus distale transformée en une soie plumeuse sur son tiers basal mais étroitement gladiolée après cela. Quatrième patte (fig. 173) avec sur le dernier article de l'exopodite trois épines extérieures et quatre soies intérieures et avec sur le dernier article de l'endopodite quatre épines et une soie intérieure plumeuse.

Cinquième patte (fig. 174) avec l'article distal pas fortement dilaté, environ 72 × 36 µ, portant une soie (23 µ) sur son bord externe et trois soies (18, 18, et 20 µ) à l'apex, et ayant de petites épines sur son pourtour comme sur la figure. Sixième patte absente.

Rame caudale (fig. 175) allongée, 93 × 17 µ, la soie dorsale mince, les autres soies relativement fortes et claviformes. Trois soies à l'apex (la plus longue 24 µ), une dorsalement un peu au delà du milieu de la rame, et trois près de sa base, une dorsale et deux latérales dont la proximale est courte. Toutes les soies nues.

Coloration sur le vivant en lumière transmise, transparente, l'œil d'un brun foncé ou noirâtre. En lumière réfléchie, l'œil d'un bleu vif.

*Mâle.* — Forme du corps (fig. 176) comme chez la femelle. Longueur totale, y compris les rames caudales, 0,645 mm (0,612-0,696 mm), largeur 0,183 (0,168-0,192 mm), observation basée sur dix spécimens. Segment de la première patte distinctement séparé de la tête. Segment génital (fig. 177) presque aussi long que large, 118 × 112 µ, incisé par derrière ventralement. Surface ventrale avec une bande transverse d'épines près du début du tiers médian, et avec une rangée de petites épines le long de chaque angle postérieur. Deux spermatophores bien

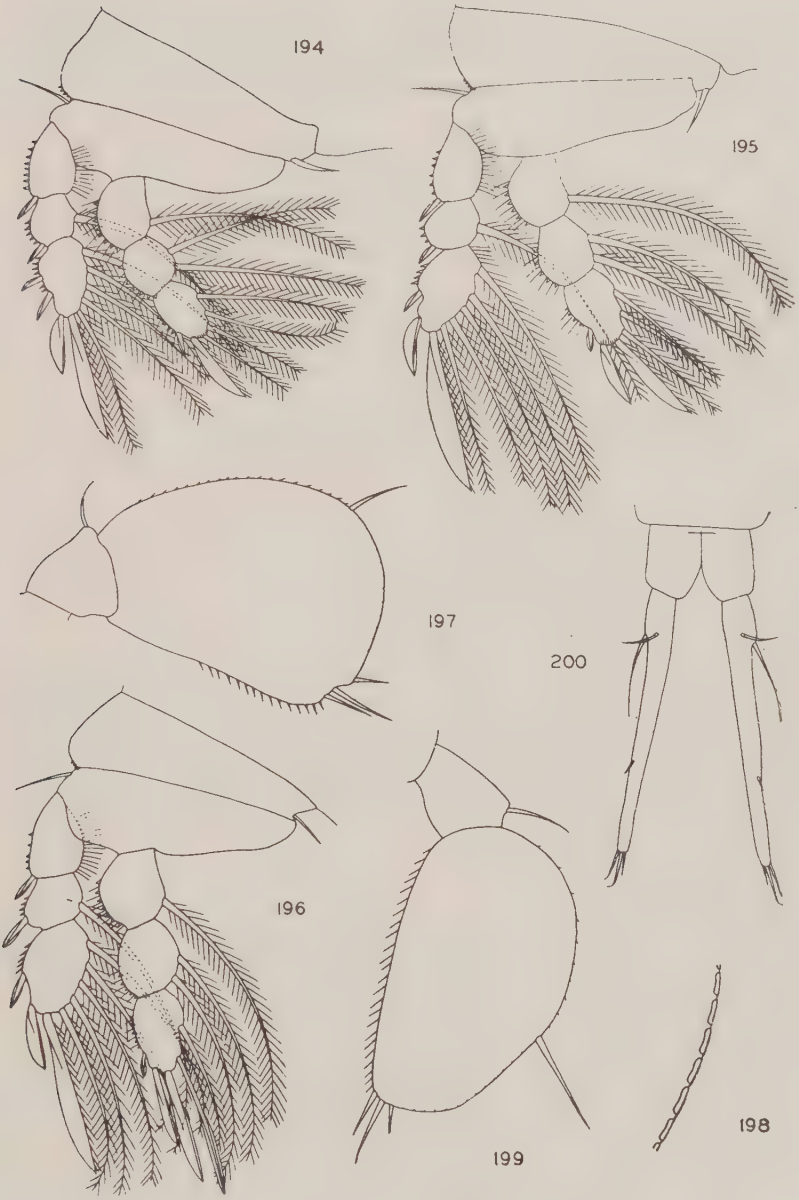



Fig. 194 à 200. — *Ostrincola simplex* n. sp., femelle. — 194, Deuxième patte (B) ; 195, Troisième patte (B) ; 196, Quatrième patte (B) ; 197, Cinquième patte (B) ; 198, Marge distale de la cinquième patte (I) ; 199, Cinquième patte avec le deuxième article étroit distalement (B) ; 200, Rames caudales (B).

visibles, chacun environ 90 × 42 μ. Abdomen 4-segmenté, les segments 36, 31, 24, et 18 μ respectivement. Rangées transverses ventrales de petites épines le long des bords postérieurs de ces segments, sauf le dernier qui a un groupe de petites épines près de la base de chaque rame caudale.

Première antenne (fig. 178) avec sept articles, leurs longueurs (mesurées le long de leurs marges postérieures) 18, 24, 7, 11, 17, 11, et 17 μ. Un grand organe sensoriel sur le troisième et deux sur le quatrième article. Un plus petit organe sensoriel sur le cinquième et deux sur le dernier article.

Deuxième antenne et les pièces buccales, excepté le maxillipède (fig. 179) qui est 3-articulé et qui a une longue griffe terminale, comme chez la femelle.

Pattes 1-4 comme chez la femelle.

Cinquième patte (fig. 180) avec l'article distal plus mince que chez la femelle, 42 × 14 μ, et les quatre soies 16, 16, 14, et 22 μ, en commençant par la plus externe.

Sixième patte (fig. 181) composée de deux soies 18 μ et 17 μ de long aux angles postérieurs du segment génital.

Rame caudale comme chez la femelle.

Coloration sur le vivant comme celle de la femelle.

*O. clavator* diffère d'*O. gracilis* Wilson 1944, la seule espèce connue du genre, en ayant une cinquième patte beaucoup plus étroite. Le développement des soies sur la rame caudale et la présence d'une troisième très petite soie dans le groupe proximal sur la rame caudale d'*O. clavator* aident aussi à séparer ces deux espèces.

**Ostrincola simplex** n. sp.

*Spécimens étudiés.* — 84 femelles et 63 mâles de la cavité du manteau de 232 Huîtres, *Ostrea* sp., (les mêmes Huîtres où l'espèce précédente a été prise), Nossi-bé, le 30 juin 1955.

Holotype femelle, allotype, et 45 paratypes (25 femelles et 20 mâles) déposés à l'I.R.S.M. à Tananarive, 45 paratypes (25 femelles et 20 mâles) au Muséum National des Etats-Unis à Washington, et les autres paratypes dans la collection de l'auteur. La localité des types la même que celle d'*O. clavator*.

*Femelle.* — Corps cyclopoïde (fig. 182). Longueur totale, y compris les rames caudales, 0,766 mm (0,696-0,852 mm), largeur 0,230 mm (0,216-0,264 mm), observation basée sur dix spécimens. Segment de la première patte distinctement séparé de la tête. Angles des segments thoraciques arrondis. Segment génital (fig. 183) un peu plus large que

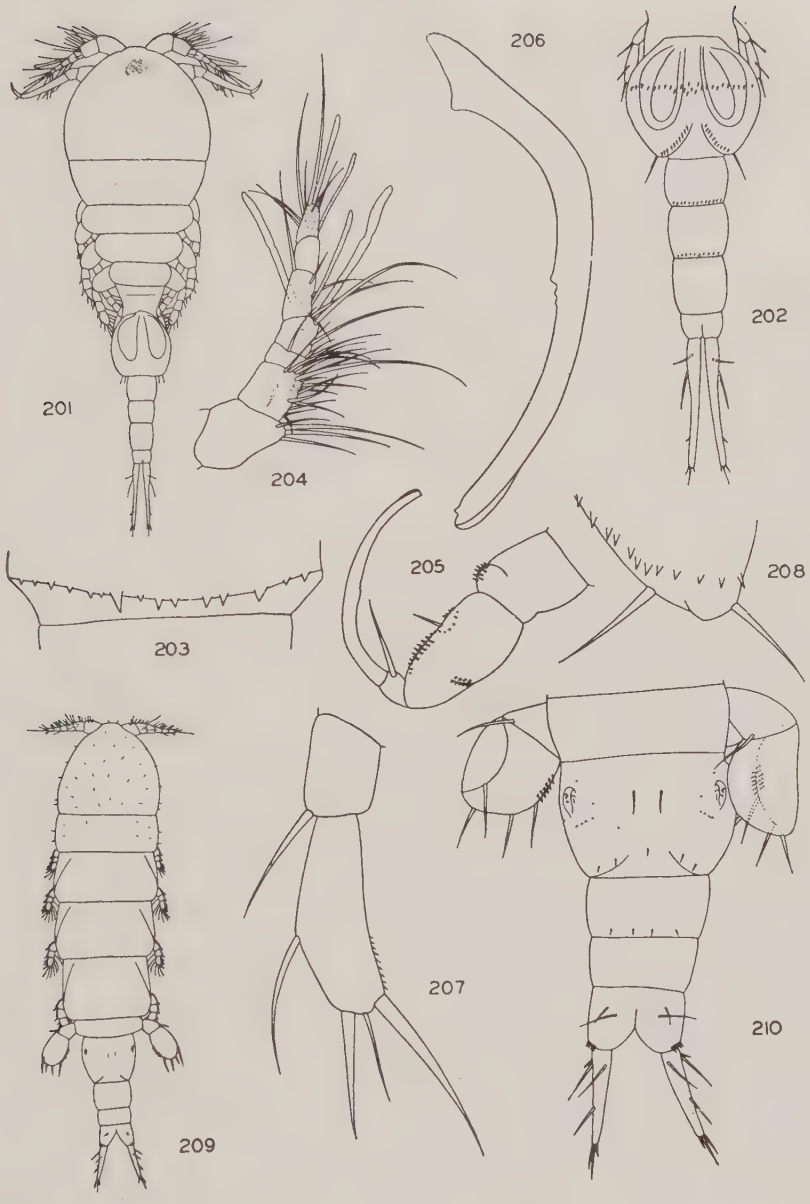



Fig. 201 à 210. — *Ostrincola simplex* n. sp., mâle : 201, Vue dorsale (C) ; 202, Segment génital et abdomen, vue ventrale (F) ; 203, Bord postérieur ventral du deuxième segment de l'abdomen (I) ; 204, Première antenne (B) ; 205, Maxillipède (B) ; 206, Griffe du maxillipède (I) ; 207, Cinquième patte (I) ; 208, Sixième patte (I). — *Pseudomyicola mirabilis* n. sp., femelle : 209, Vue dorsale (I) ; 210, Segment génital et abdomen, vue dorsale (C).

long, 108 × 128 μ, avec sa surface dorsale lisse, sauf quelques épines latéralement. Surface ventrale (fig. 184) avec deux rangées transverses d'épines en travers de la moitié antérieure du segment et une rangée de petites épines le long de son bord postérieur. Points de fixation des sacs ovigères comme chez l'espèce précédente. Abdomen 3-segmenté, les segments 45, 57, et 24 μ, inermes dorsalement, mais ventralement avec une rangée de petites épines le long du bord postérieur du premier segment.

Sac ovigère (fig. 185) ovale, 132 × 70 μ, basé sur cinq spécimens, dépassant un peu la base du deuxième segment de l'abdomen, contenant environ 55 œufs, et rétréci transversalement autour du milieu.

Rostre pas marqué. Première antenne (fig. 186) avec sept articles, leurs longueurs (mesurées le long de leurs marges postérieures) 24, 29, 13, 10, 22, 11, et 19 μ respectivement. Un organe sensoriel sur chacun des trois derniers articles. Deuxième antenne (fig. 187) 3-articulée, le troisième article allongé et mince avec sur son bord intérieur une soie et une rangée indistincte de poils, sur son bord basal extérieur une rangée de petites épines, et à l'apex trois soies minces et une grande griffe recourbée (fig. 188).

Labre (fig. 189) largement triangulaire avec une rangée d'épines le long des deux bords extérieurs et peu profondément échancré postérieurement. Mandibule (fig. 190) avec une armature comme celle de l'espèce précédente. Première maxille (fig. 191) et deuxième maxille (fig. 192) très proches de celles de l'espèce précédente. Maxillipède manquant.

Rames des pattes 1-4 comme celles de l'espèce précédente. Formule des épines et des soies de même. Epines et soies des exopodites comme chez l'espèce précédente. Epine terminale sur l'endopodite de la première patte (fig. 193) semi-gladiolée, avec une rangée de poils le long de son bord intérieur. Dernier article de l'endopodite de la deuxième patte (fig. 194) avec une épine courte gladiolée extérieure, une longue épine semi-gladiolée avec des poils le long de son bord interne, et quatre soies plumeuses externes. Dernier article de l'endopodite de la troisième patte (fig. 195) avec trois épines et trois soies. Même article de la quatrième patte (fig. 196) avec trois épines extérieures, une soie gladiolée sur sa moitié distale, et une soie plumeuse intérieure. Les épines gladiolées terminales sur les rames, plus longues et plus larges que chez l'espèce précédente ; l'épine terminale sur le dernier article de l'exopodite de la quatrième patte, par exemple, mesurant 56 μ.

Cinquième patte (fig. 197) avec son deuxième article distalement dilaté, 98 × 78 μ, son bord distal portant à l'angle externe une seule soie de 22 μ, et à l'angle interne un groupe de trois soies 11, 24, et 14 μ respectivement. Bord de l'article entre ces deux angles sans épines

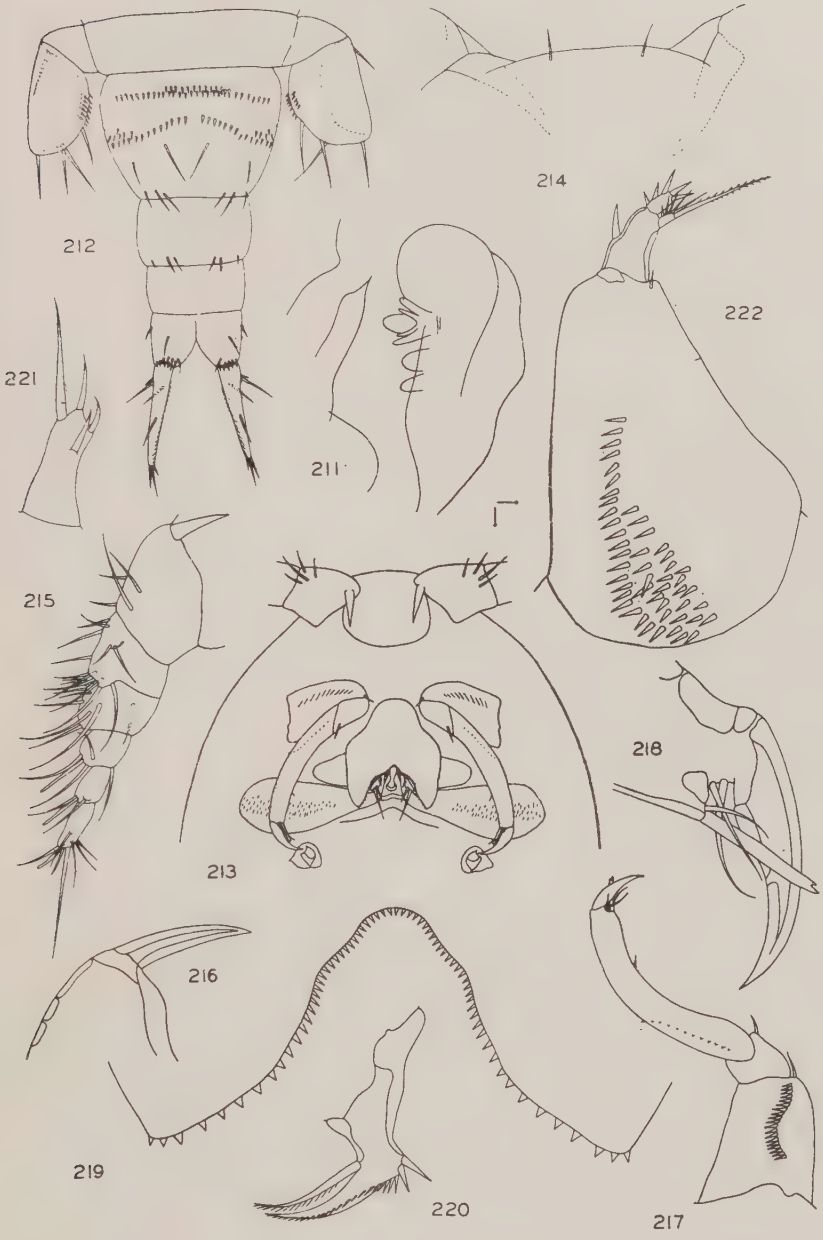



Fig. 211 à 222. — *Pseudomyicola mirabilis* n. sp., femelle. — 211, Fixation d'un sac ovigère, vue dorsale, les flèches indiquant la direction externe et postérieure (I) ; 212, Segment génital et abdomen, vue ventrale (C) ; 213, Région orale (E) ; 214, Bord antérieur, région du rostre (B) ; 215, Première antenne (F) ; 216, Grande épine à la base de la première antenne (B) ; 217, Deuxième antenne (F) ; 218, Apex de la deuxième antenne (I) ; 219, Bord intérieur du labre (I) ; 220, Mandibule (B) ; 221, Première maxille (B) ; 222, Deuxième maxille (B).

mais avec des très petits denticules sclérifiés internes (fig. 198). Rangées d'épines le long des deux bords proximaux de l'article. Une femelle avec le deuxième article plus étroit distalement (fig. 199). Sixième patte manquante.

Rame caudale (fig. 200) allongée, 96 × 12 μ dans sa partie basale ou × 6 μ dans partie distale. Toutes les soies minces et nues. La soie dorsale pédicellée 12 μ et la soie latérale voisine 30 μ. Soie latérale sub-terminale 5 μ. Trois soies terminales, l'intérieure 6 μ, une au milieu 13 μ, et l'extérieure 10 μ.

Coloration comme chez l'espèce précédente. Sac ovigère un peu orange en lumière réfléchie, mais opaque en lumière transmise.

*Mâle.* — Forme du corps (fig. 201) comme chez la femelle. Longueur totale, y compris les rames caudales, 0,602 mm (0,540-0,648 mm), largeur 0,160 mm (0,144-0,192 mm), observation basée sur dix spécimens. Segment de la première patte distinctement séparé de la tête. Segment génital (fig. 202) un peu renflé, 92 × 93 μ, incisé par derrière ventralement, les bords de l'incision portant une rangée de petites épines, et une autre rangée de petites épines en travers près du milieu du segment. Abdomen 4-segmenté, les segments 30, 34, 36, et 16 μ respectivement. Bords postérieurs du premier et du deuxième segment de l'abdomen portant une rangée de petites épines (fig. 203). Surface dorsale du segment génital et de l'abdomen sans soies. Deux spermatophores.

Première antenne (fig. 204) avec sept articles, leurs longueurs (mesurées le long de leurs marges postérieures) 33, 42, 15, 22, 41, 26, et 30 μ respectivement. Deux grands organes sensoriels sur le quatrième article et un plus petit organe sensoriel sur chacun des trois derniers articles.

Deuxième antenne et les pièces buccales comme chez la femelle, excepté le maxillipède (fig. 205) qui est 3-articulée et qui a une longue griffe terminale (fig. 206).

Pattes 1-4 comme chez la femelle, mais la soie interne du coxopodite de la quatrième patte beaucoup plus longue que chez la femelle.

Cinquième patte (fig. 207) avec l'article distal plus mince que chez la femelle, 42 × 12 μ, la soie de son bord externe 25 μ, les soies terminales 19, 16, et 32 μ en longueur respectivement.

Sixième patte (fig. 208) composée de deux soies 15 μ et 13 μ de long aux angles postérieurs du segment génital.

Rame caudale comme chez la femelle.

Coloration sur le vivant semblable à celle de la femelle.

*O. simplex* se distingue d'*O. gracilis* Wilson 1944 par les trois soies du groupe interne distal sur le deuxième article de la cinquième

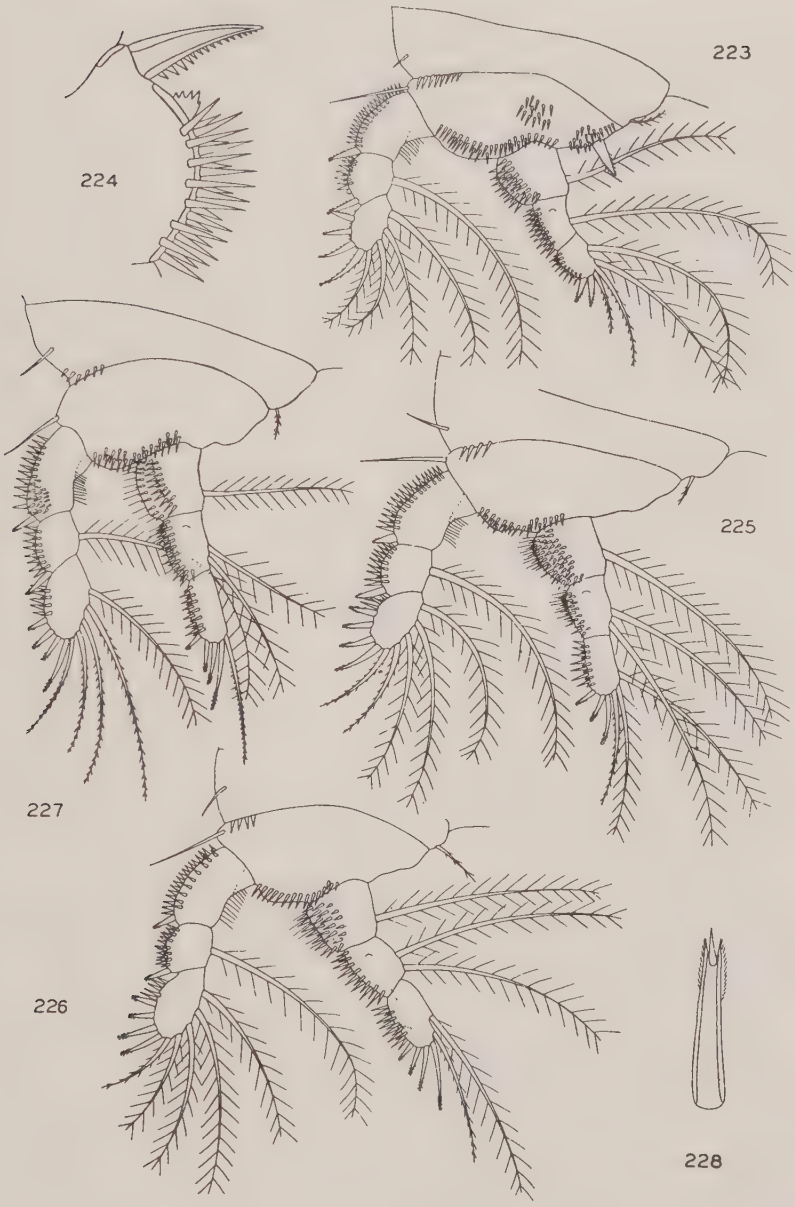



Fig. 223 à 228. — *Pseudomyicola mirabilis* n. sp., femelle. — 223, Première patte (F) ; 224, Processus palmé sur le bord externe du deuxième article de la première patte (I) ; 225, Deuxième patte (F) ; 226, Troisième patte (F) ; 227, Quatrième patte (F) ; 228, Troisième épine marginale sur le troisième article de l'exopodite de la quatrième patte (I).

patte placées l'une près de l'autre, par le sac ovigère transversalement rétréci avec un plus grand nombre d'œufs, par la présence de deux épines gladiolées sur le dernier article de l'endopodite de la première patte, et en ayant seulement deux épines semblables sur le même article de la deuxième patte et seulement trois à cette place sur la troisième patte. L'espèce nouvelle diffère d'*O. clavator* par la cinquième patte dilatée de la femelle et par les soies beaucoup plus minces sur les rames caudales.

*O. clavator* et *O. simplex* ont été trouvés ensemble dans les mêmes hôtes. Les Huîtres, avec les Copépodes emprisonnés dedans, étaient attachées aux rochers exposés à l'air et au soleil au cours des marées basses quotidiennes. Les Copépodes vivants en bocaux dans le laboratoire nagent capricieusement quand ils sont dérangés. Les femelles des deux espèces nouvelles sont facilement séparées par leur différence évidente de taille. Les mâles, pourtant, nécessitent un examen individuel, faisant usage de la nature des soies des rames caudales comme caractère distinctif.

## *MYICOLIDAE*

**Pseudomyicola mirabilis** n. sp.

*Spécimens étudiés.* — 63 Copépodes de la cavité du manteau de 490 Pélécypodes, *Arca decussata* Sowerby, trouvés au-dessous des rochers et du corail exposés à marée basse sur la plage entre la Station Océanographique et l'extrémité de la Pointe à la Fièvre, Nossi-bé, le 25 juillet 1955.

Holotype femelle, allotype, et 19 paratypes (12 femelles et 7 mâles) déposés à l'I.R.S.M. à Tananarive, 19 paratypes (12 femelles et 7 mâles) au Muséum National des Etats-Unis à Washington, et les autres paratypes dans la collection de l'auteur.

*Femelle.* — Corps allongé (fig. 209), la région thoracique avec les deux côtés sub-parallèles, et avec le segment génital et les segments abdominaux ensemble comprenant à peu près un tiers de la longueur totale du corps. Longueur totale, y compris les rames caudales, 1,781 mm (1,680-1,960 mm), largeur 0,446 mm (0,396-0,480 mm), observation basée sur dix spécimens. Segment portant la première patte distinctement séparé de la tête. Surface dorsale de la tête et la partie antérieure du thorax avec des très petits poils épars. Segment génital (fig. 210) un peu plus large que long, 285 × 196 µ, avec les fixations des sacs ovigères (fig. 211) situées dorsalement dans la moitié antérieure et avec de très petites soies, de petites protubérances, et

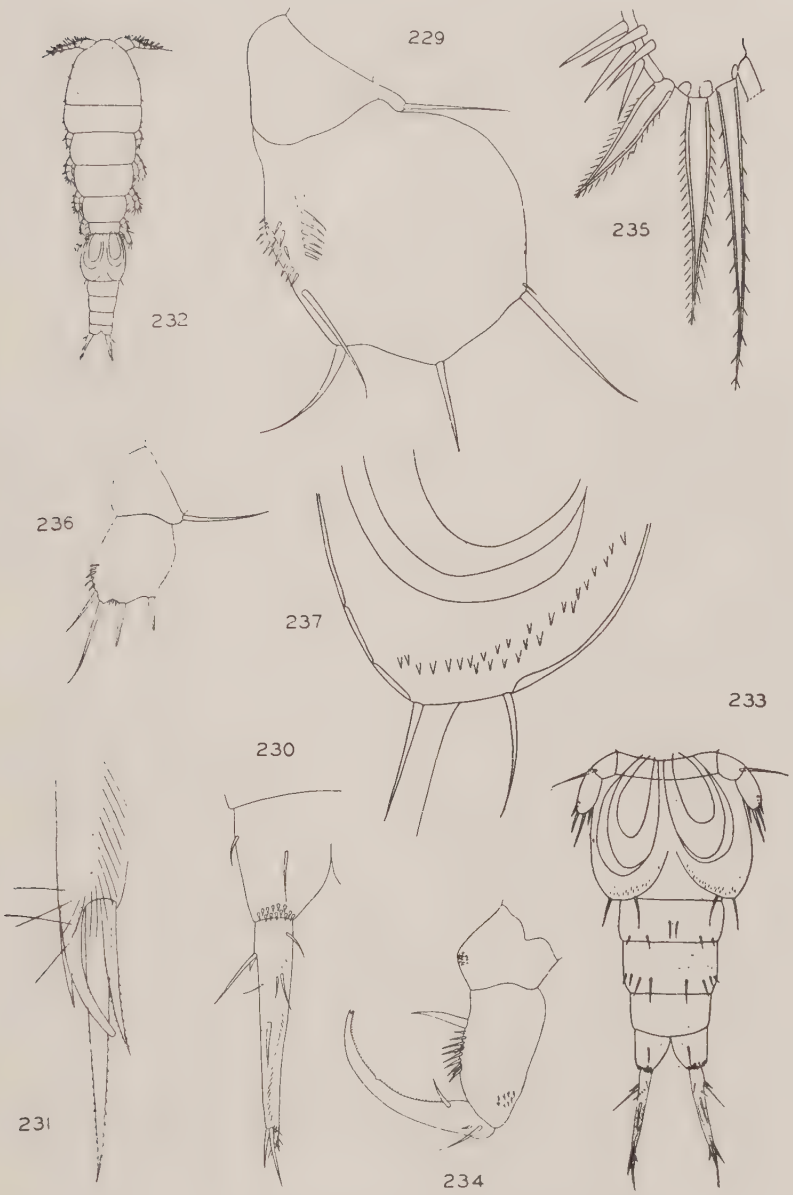



Fig. 229 à 237. — *Pseudomyicola mirabilis* n. sp. — Femelle : 229, Cinquième patte (F) ; 230, Rame caudale, vue ventrale (F) ; 231, Apex de la rame caudale, vue ventrale (I). — Mâle : 232, Vue dorsale (L) ; 233, Segment génital et abdomen, vue ventrale (C) ; 234, Maxillipède (F) ; 235, Epines sur le troisième article de l'endopodite de la première patte (I) ; 236, Cinquième patte (F) ; 237, Sixième patte (B).

des points réfringents sur sa surface dorsale comme indiqué sur la figure. Surface ventrale du segment génital (fig. 212) avec deux rangées transverses d'épines sur sa moitié antérieure et des soies fines en arrière comme figuré. Abdomen 3-segmenté, les segments 109, 73, et 92 μ de long respectivement.

Sac ovigère inconnu.

Rostre (fig. 213) pas saillant, composé seulement d'un lobe ventral, qui n'est pas visible dorsalement excepté par ses deux très petites soies (fig. 214).

Première antenne (fig. 215) avec six articles, leurs longueurs (mesurées le long de leurs marges postérieures) 24, 22, 34, 25, 26, et 39 μ respectivement. Un seul organe sensoriel court sur chacun des trois derniers articles. Toutes les soies nues. A l'angle interne antérieur du premier article une épine marquante, bien sclérifiée et dirigée postérieurement (fig. 216), 43 μ en longueur, mesurée en son milieu.

Deuxième antenne (fig. 217) 3-articulée, le troisième article mince et un peu arqué, portant distalement une forte griffe recourbée, trois soies minces, et une soie fine, lamelliforme bifurquée à l'apex (fig. 218).

Labre (fig. 213) largement échancré, avec deux lobes latéraux dirigés postérieurement, la marge de l'échancrure avec une rangée d'épines (fig. 219). Mandibule (fig. 220) se terminant par un processus unilatéralement pectiné avec deux grandes épines près de sa base et à une soie mince unilatéralement plumeuse. Première maxille (fig. 221) avec trois soies terminales (la plus longue 30 μ) et une soie subterminale. Deuxième maxille (fig. 222) avec un très grand article basal portant un groupe d'épines sur sa surface externe et une très petite soie à son angle intérieur distal. Deuxième article ayant une grande épine sur sa marge externe et portant deux processus distaux, l'externe armé de cinq épines, l'interne avec plusieurs petites soies et une seule longue soie pectinée. Maxillipède (fig. 213) réduit à une petite protubérance montrant des replis superficiels et située derrière le milieu de la deuxième maxille. Région orale comme sur la fig. 213.

Rames des pattes 1-4 avec trois articles. Formule des épines et des soies de ces pattes comme suit :

| | 1re PATTE | | 2e PATTE | | 3e PATTE | | 4e PATTE | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *exp.* | *end.* | *exp.* | *end.* | *exp.* | *end.* | *exp.* | *end.* |
| 1er article ..... | 1:0 | 0:1 | 1:0 | 0:1 | 1:0 | 0:1 | 1:0 | 0:1 |
| 2e article ..... | 1:1 | 0:1 | 1:1 | 0:2 | 1:1 | 0:2 | 1:1 | 0:2 |
| 3e article ..... | 8 | 6 | 9 | 6 | 9 | 6 | 9 | 5 |

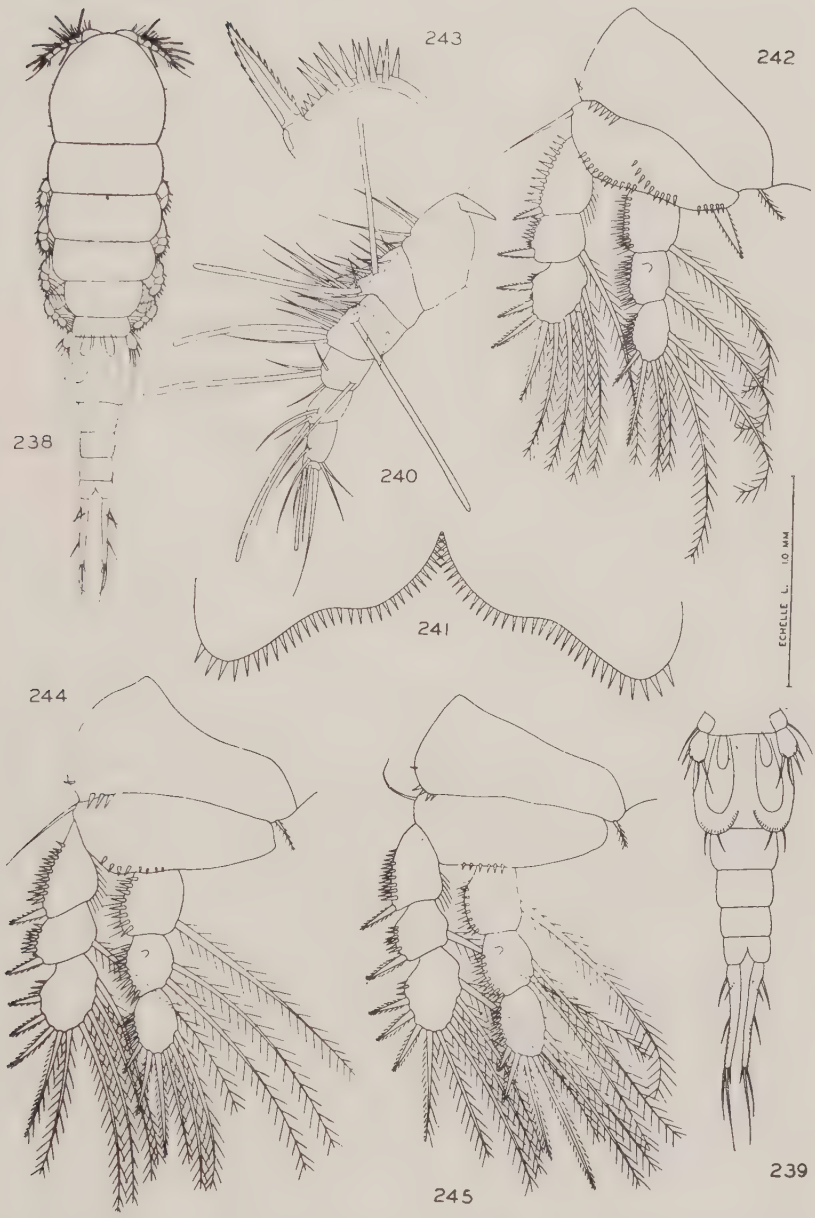



Fig. 238 à 245. — *Pseudomyicola levis* n. sp., mâle. — 238, Vue dorsale (J) ; 239, Segment génital et abdomen, vue ventrale (C) ; 240, Première antenne (D) ; 241, Marge du labre (I) ; 242, Première patte (D) ; 243, Processus trifide sur le bord externe du deuxième article de la première patte (I) ; 244, Deuxième patte (D) ; 245, Troisième patte (D).

Coxopodites des pattes 1-4 avec une faible soie extérieure. Première patte (fig. 223) avec une forte épine intérieure sur le basipodite. Avec un petit processus palmé sur le bord externe du deuxième article de l'exopodite (fig. 224). Trois épines extérieures sur le dernier article de l'endopodite 18, 24, et 48 μ de long. Deuxième et troisième pattes (figs 225 et 226) comme indiqué. Quatrième patte (fig. 227) avec la plus distale des trois épines latérales sur le dernier article de l'exopodite trifurquée comme sur la fig. 228. Une épine semblable également sur la troisième patte, mais pas sur la première ou la deuxième patte. Les quatre paires de pattes avec un sillon chitineux en forme de petit croissant sur la surface postérieure du deuxième article de l'endopodite au bout d'un muscle bien visible.

Cinquième patte (fig. 229) avec deux articles, le premier triangulaire portant une soie externe de 70 μ de long, le deuxième à peu près aussi long que large, 162 × 165 μ, portant quatre longues soies nues très espacées sur le bord distal, 81, 78, 56, et 98 μ de long respectivement. Près du bord interne de l'article proximalement à la première soie un groupe d'épines, et parallèlement près de cela une rangée de soies avec un groupe de petits poils à l'extrémité proximale de la rangée. Une très petite soie près de la soie proximale la plus externe. Quelques points réfringents sur la surface de l'article. Sixième patte manquante.

Rame caudale (fig. 230) allongée, 160 × 30 μ (largeur la plus grande), ou à 11 μ (largeur la plus étroite). Près de sa base une soie dorsale pédicellée, deux soies extérieures (l'une 53 μ en longueur, l'autre seulement environ un quart de cette longueur), et trois soies délicates sur la surface ventrale. Une soie marquante ventrale 36 μ en longueur presque à mi-chemin de la rame. Le bout de la rame prolongé à son angle interne en une lame mince (fig. 231) et portant trois soies inégales, l'interne la plus courte, la médiane la plus longue (44 μ) et finement pectinée, l'externe aussi pectinée. Une rangée de poils commençant près du milieu de la rame et s'étendant postérieurement à la prolongation lamelliforme. Points réfringents dispersés sur les surfaces dorsales et ventrales de la rame.

Coloration sur le vivant en lumière réfléchie, transparente, l'œil rouge situé entre les bords postérieurs des deuxièmes antennes et des mandibules, plus facilement visible ventralement que dorsalement. Intestin d'un brun foncé.

*Mâle.* — Corps (fig. 232) avec les segments thoraciques un peu plus étroits postérieurement. Longueur totale, y compris les rames caudales, 1.445 mm (1,330-1,680 mm), largeur 0,361 mm (0,336-0,432 mm), observation basée sur dix spécimens. Surface dorsale de la tête

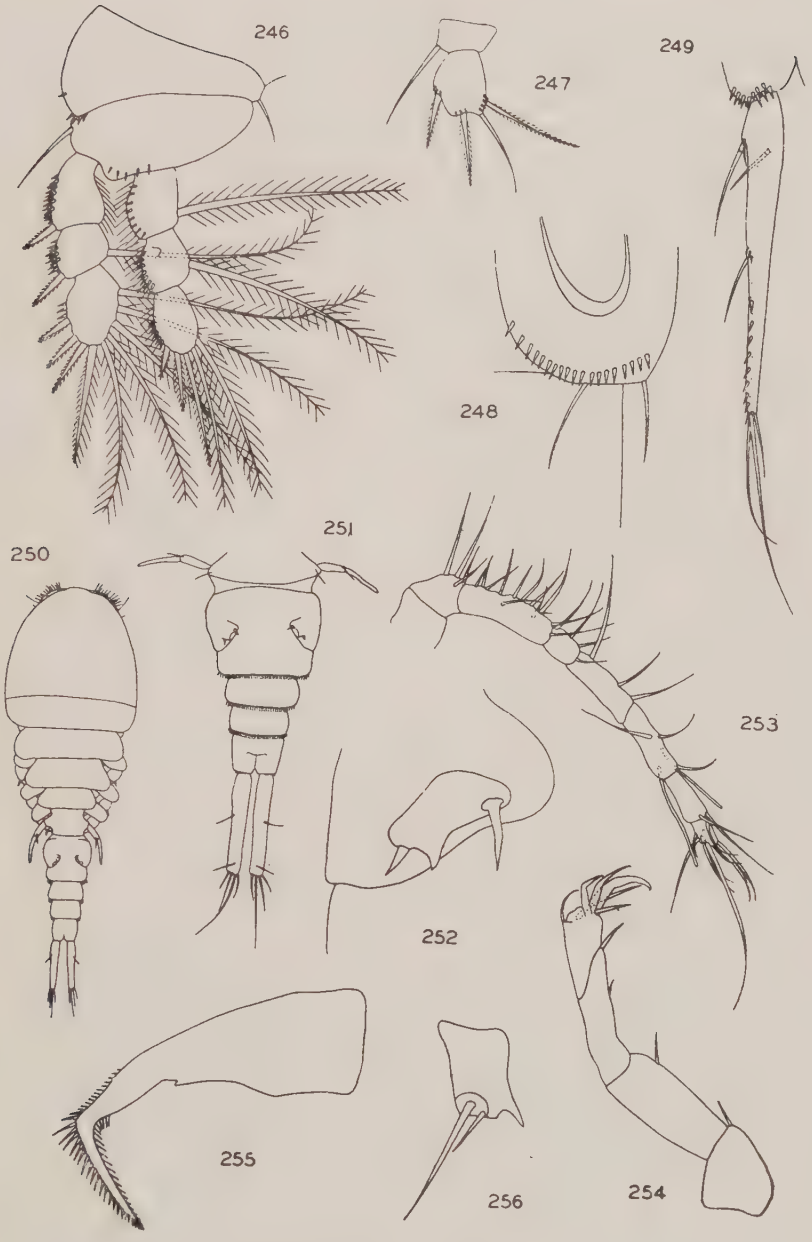



Fig. 246 à 256. — *Pseudomyicola levis* n. sp., mâle : 246, Quatrième patte (D) ; 247, Cinquième patte (D) ; 249, Rame caudale, vue ventrale (D). — *Modiocola trabalis* n. sp., femelle : 250, Vue dorsale (J) ; 251, Segment génital et abdomen, vue dorsale (E) ; 252, Bord du segment génital, avec la fixation d'un sac ovigère, vue dorsale (I) ; 253, Première antenne (D) ; 254, Deuxième antenne (D) ; 255, Mandibule (I) ; 256, Première maxille (I).

et de la partie antérieure du thorax avec des poils fins. Segment génital (fig. 233) un peu gonflé, environ 197 × 245 μ, sa surface ventrale incisée postérieurement, chaque lobe postérieur latéral avec une rangée d'épines. Abdomen 4-segmenté, les segments 60, 78, 56, et 64 μ de long respectivement et pourvus de soies et de points réfringents comme indiqué sur la fig. 233. Spermatophores 126 × 47 μ.

Première et deuxième antenne et les pièces buccales comme chez la femelle, excepté le maxillipède (fig. 234), ici 3-articulé, le deuxième article avec un groupe interne de plus petites épines et un groupe externe distal de petites épines, et le troisième une griffe longue, recourbée, bifurquée à l'apex et armée de trois petites soies basalement et ayant une entaille distincte au milieu de son bord concave finement frangé.

Pattes 1-4 avec la même formule des épines et des soies que chez la femelle. Première patte avec la soie médiane des trois soies latérales sur le dernier article de l'endopodite plus longue que chez la femelle (fig. 235), les longueurs des trois soies 22, 36, et 44 μ respectivement. Les autres pattes comme celles de la femelle.

Cinquième patte (fig. 236) avec la soie extérieure sur le premier article 45 μ en longueur, et les quatre soies longues terminales sur le deuxième article 25, 47, 22, et 19 μ respectivement. Deuxième article 56 × 45 μ, avec une rangée de petites épines sur le bord interne près de la base de la longue soie interne, et un autre groupe de petites épines entre les deux longues soies médianes. Sixième patte (fig. 237) composée de deux soies bien séparées (47 et 44 μ en longueur) sur les angles postérieurs du segment génital.

Rame caudale comme chez la femelle, mais plus petite, 116 × 20 μ (plus grande largeur), × 11 μ (plus petite largeur) et la soie terminale médiane relativement plus longue (43 μ).

Coloration comme celle de la femelle.

*P. mirabilis* diffère de *P. ostreae* Yamaguti 1936 dans lequel la femelle est plus grande (2,1-2,4 mm en longueur), la rame caudale est plus large (35-40 μ) et épineuse sur sa surface ventrale, et le deuxième article de la cinquième patte est à peu près deux fois aussi long que large. Yamaguti n'a pas mentionné de processus palmé sur le bord externe du deuxième article de l'exopodite de la première patte. L'espèce nouvelle diffère aussi de *P. glabra* Pearse 1947, l'autre espèce connue du genre, dans laquelle la femelle est plus grande (2,23 mm en longueur). Chez une femelle (U.S.N.M. 83114) identifiée par Pearse, prise dans la cavité du manteau de *Modiolus demissus* (Dillwyn) à Beaufort, North Carolina, la rame caudale est plus longue, 193 × 31 μ (plus grande largeur) et × 10 μ (plus petite largeur), et n'est pas épi-

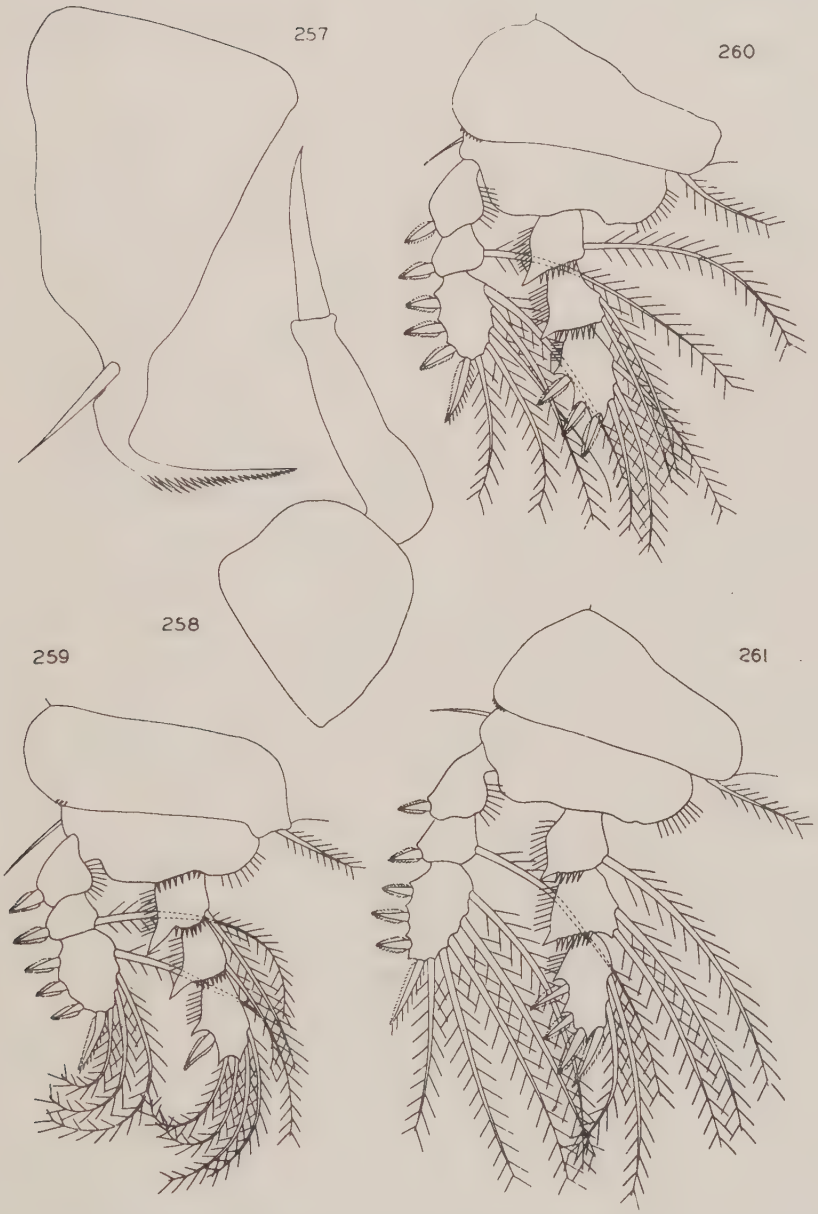



Fig. 257 à 261. — *Modiolicola trabalis* n. sp., femelle. — 257, Deuxième maxille (I) ; 258, Maxillipède (I) ; 259, Première patte (B) ; 260, Deuxième patte (B) ; 261, Troisième patte (B).

neuse. La cinquième patte ne montre ni l'épaississement marginal mentionné par PEARSE (ses dessins représentent probablement le deuxième article partiellement plié), ni la rangée d'épines transverse de la surface antérieure. Il existe un processus palmé sur le bord externe du deuxième de l'exopodite de la première patte.

**Pseudomyicola levis** n. sp.

*Spécimens étudiés.* — 12 mâles de la cavité du manteau des mêmes Pélécypodes, *Arca decussata* Sowerby, où l'espèce précédente a été recueillie. Même localité des types.

Holotype mâle et trois paratypes déposés à l'I.R.S.M. à Tananarive, trois paratypes au Muséum National des Etats-Unis à Washington, et les autres paratypes dans la collection de l'auteur.

*Femelle.* — Inconnue.

*Mâle.* — Corps allongé (fig. 238), ressemblant à celui de *P. decorata*. Longueur totale (y compris les rames caudales) 1,093 mm (0,960-1,190 mm), largeur 0,269 mm (0,252-0,288 mm), observation basée sur huit spécimens. Segment de la première patte distinctement séparé de la tête. Quelques très rares poils. Segment génital (fig. 239) environ 151 × 142 µ, sa surface ventrale incisée postérieurement, chaque lobe latéral avec une rangée d'épines. Abdomen 4-segmenté, les segments 67, 58, 50, et 43 µ de longueur respectivement et complètement inermes sauf sur le dernier segment un groupe ventral d'épines près de la base de chaque rame caudale. Quelques rares points réfringents. Spermatophores 134 × 64 µ.

Première antenne (fig. 240) avec six articles, leurs longueurs (mesurées le long de leurs marges postérieures) 25, 11, 22, 19, 18, et 26 µ respectivement. Avec sept longs organes sensoriels, deux sur le deuxième, deux sur le troisième, et un sur chacun des trois derniers articles Une épine marquante bien sclérifiée et dirigée postérieurement, 19 µ en longueur, à l'angle interne antérieur du premier article.

Deuxième antenne comme chez *P. decorata*. Labre (fig. 241) échancré, sa marge avec une rangée d'épines. Mandibule, première maxille, deuxième maxille et maxillipède comme chez *P. decorata*.

Formule des épines et des soies des pattes 1-8 comme chez *P. decorata*. Les quatre pattes avec une très petite soie extérieure sur le coxopodite, avec un sillon chitineux en forme d'U sur la surface postérieure du deuxième article de l'endopodite à l'extrémité distale d'un muscle bien visible, et avec les épines le long des bords des articles pour la plupart disposées en une seule rangée.

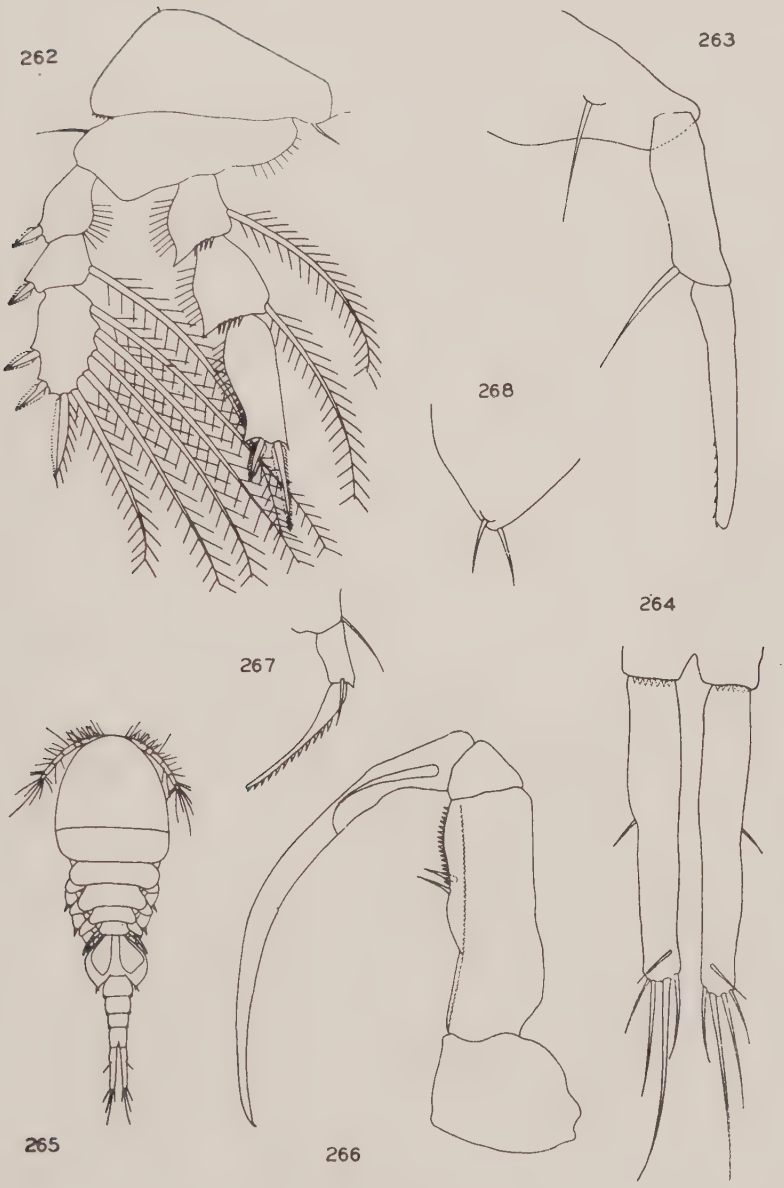



Fig. 262 à 268. — *Modiolicola trabalis* n. sp. — Femelle : 262, Quatrième patte (B) ; 263, Cinquième patte (I) ; 264, Rame caudale, vue dorsale (B). — Mâle : 265, Vue dorsale (J) ; 266, Maxillipède (H) ; 267, Cinquième patte (B) ; 268, Sixième patte (B).

Première patte (fig. 242) avec une forte épine interne sur le basipodite. Avec deux épines extérieures sur le dernier article de l'endopodite 24 μ et 36 μ de long respectivement. Marge extérieure du deuxième article de l'exopodite avec un processus trifide (fig. 243) entre la base de la grande épine et la rangée de plus petites épines. Pattes 2 et 3 (figs. 244 et 245) comme sur les figures. Quatrième patte (fig. 246) avec le nombre d'épines sur le basipodite aux bases des rames très réduit. La plus distale des trois épines latérales sur le dernier article de l'exopodite des pattes 3 et 4 trifurquée comme chez *P. decorata*.

Cinquième patte (fig. 247) apparemment avec deux articles, le premier sans démarcation nette avec le segment et portant une soie interne de 46 μ de long, le deuxième 44 × 25 μ, avec trois soies frangées et une soie nue sur sa marge, leurs longueurs, commençant par l'externe 24, 34, 46, et 52μ. Trois groupes de petites épines près des bases des trois soies frangées.

Sixième patte (fig. 248) composée de deux soies bien séparées (48 μ et 42 μ de long) à l'angle externe postérieur du segment génital.

Rame caudale (fig. 249) allongée, 165 × 23 μ (largeur la plus grande), × 14 μ (largeur au milieu), ou × 8 μ (largeur la plus étroite). Près de la soie dorsale pédicellée (23 μ) deux soies extérieures (49 μ et 13 μ). Près du milieu de la rame une soie externe de 42 μ, avec un groupe des petites épines près de sa base. Une rangée extérieure d'épines le long du tiers distal de la rame. A son bout trois soles, l'interne 24 μ, la médiane 97 μ, et l'externe 60 μ. Quelques points réfringents comme indiqué sur la surface ventrale de la rame.
97 μ, et l'externe 60 μ. Quelques points réfringents comme indiqué sur la surface ventrale de la rame.

Coloration sur le vivant comme chez *P. decorata*.

*P. levis* diffère de *P. glabra* Pearse 1947 par sa plus petite taille, par l'absence de petites épines sur la surface de la rame caudale, et par la présence d'un processus trifide au lieu d'un processus palmé sur le bord externe du deuxième article de l'exopodite de la première patte. Cette espèce diffère de *P. ostreae* Yamaguti 1936 (dont la femelle seule a été décrite) par le nombre moindre d'épines sur les bords extérieurs des articles des pattes 1-4, par les proportions et l'armature du deuxième article de la cinquième patte, et par la minceur de la rame caudale et son armature.

On peut séparer l'espèce nouvelle de *P. decorata* décrit ci-dessus par ses segments abdominaux inermes, par le nombre réduit de petites épines sur les bords externes des articles des pattes 1-4, par sa plus petite taille, par la nature des soies de la cinquième patte, par la taille et l'armature de la rame caudale, par la présence d'un processus

trifide au lieu d'un processus palmé sur le bord externe du deuxième article de l'exopodite de la première patte, et par les longs organes sensoriels sur la première antenne.

**Conchyliurus** sp.

Un seul Copépode cyclopoïde (2,590 × 0,630 mm) a été trouvé dans la cavité du manteau d'un Pélécypode, *Antigone puerpera* Linné, habitant le sable rocheux à marée basse à Pointe Lokobe, Nossi-bé, le 23 juin 1955. Ce Copépode, connu seulement en un exemplaire, appartient à un genre qui est connu de France et de l'Afrique Occidentale. A cause du manque de matériel, l'espèce nossi-béenne n'est pas décrite ici.

## BIBLIOGRAPHIE


Aurivillius (C. V. S.), 1882. — Bidrag till kännedomen om Krustaceer, som lefva hos Mollusker och Tunikater. — *Oefvers. K. Vetensk. Akad. Förh.* (Stockholm), 39 (3) : 31-67, (8) 41-117.

Brady (G. S.), 1880. — A monograph of the free and semi-parasitic Copepoda of the British Islands. 3:1-83. Ray Soc., London.

Canu (E.), 1892. — Les Copépodes du Boulonnais, morphologie, embryologie, taxonomie. — *Trav. Lab. Zool. Maritime Wimereux-Ambleteuse* (Pas-de-Calais), 6:1-354.

Claus (C.), 1889. — Uber neue oder wenig bekannte halbparasitische Copepoden, insbesondere der Lichomolgiden-und Ascomyzontiden-Gruppe. — *Arb. Zool. Inst. Univ. Wien*, 8:1-44.

Hansen (H. J.), 1923. — Crustacea Copepoda, II. Copepoda parasita and hemiparasita. — Danish Ingolf-Exped., 3:1-92.

Kossmann (R.), 1877. — Entomostraca. — Zoologische Ergebnisse einer im Auftrage der königlichen Academie der Wissenschaften zu Berlin ausgeführten Reise in die Küstengebiete des rothen Meeres, IV, pp. 1-24.

Leydig (F.), 1853. — Zoologische Notizen. 1. Neuer Schmarotzerkrebs auf einem Weichthier. — *Ztschr. Wissensch. Zool.*, 4:377-382.

Monod (T.), 1928. — Sur quelques Copépodes parasites de Nudibranches. — *Bull. Inst. Océanogr.* (Monaco), N° 509, pp. 1-18.

Pearse (A. S.), 1947. — Parasitic Copepods from Beaufort, North Carolina. — *J. Elisha Mitchell Scient. Soc.*, 63:1-16.

Sars (G. O.), 1916. — Liste systématique des Cyclopoidés, Harpacticoidés et Monstrilloidés recueillis pendant les campagnes de S.A.S. le Prince Albert de Monaco, avec descriptions et figures des espèces nouvelles. — *Bull. Inst. Océanogr.* (Monaco), N° 323, pp. 1-15.

1918. — An account of the Crustacea of Norway with short descriptions and figures of all the species. Vol. VI, Copepoda Cyclopoida : Parts XIII and XIV, Lichomolgidae (concluded), Oncacidae, Corycaeidae, Ergasilidae, Clausiidae, Eunicicolidae (Supplement) ; pp. 173-225 (Bergen).

Scott (A.), 1909. — The Copepoda of the Siboga Expedition. Part I. Free-swimming, littoral and semi-parasitic Copepoda. — Siboga-Exped. Uitkom. Zool. Nederl. Oost-Indie (1899-1900), Monogr. 29a, pp. 1-323.

Sewall (R. B. Seymour), 1949. — The littoral and semi-parasitic Cyclopoida, the Monstrilloida and Notodelphyoida. — John Murray Exped. 1933-34, Scient. Repts., 9:17-199.

Thompson (I. C.) et Scott (A.), 1903. — Report on the Copepoda collected by Professor Herdman at Ceylon in 1902. — Report to the Government of Ceylon on the Pearl Oyster Fisheries of the Gulf of Manaar, part 1, pp. 227-307.

Valle (A.), 1880. — Sopra una specie nuova del genere *Stellicola* Ksm. — *Boll. Soc. Adriatica Sci. Nat. Trieste*, 6:51-54.

Valle (A. della), 1880. — Sui Coriceidi parassiti, e sull'anatomia del gen. Lichomolgus. — *Atti R. Accad. Lincei*, (3) 5:107-124.

MÉMOIRES DE L'INSTITUT SCIENTIFIQUE DE MADAGASCAR

Série F. – Tome II. — 1958

*RECHERCHES SUR LA FAUNE INTERSTITIELLE DES SEDIMENTS MARINS ET D'EAU DOUCE DE MADAGASCAR*

X

# DEUXIEME CONTRIBUTION A LA FAUNE DES NEMATODES DES EAUX INTERSTITIELLES LITTORALES DE MADAGASCAR (1)

par

Sébastien A. GERLACH (2)

Après avoir publié en 1953 une première étude sur les Nématodes des eaux interstitielles littorales de Madagascar, j'ai reçu de nombreuses autres prises, récoltées par le Dr R. Paulian de 1952 à 1956 en divers points de la côte de Madagascar et de la Réunion et obtenus par lui de l'île Maurice grâce à l'obligeance du Dr J. Vinson, prises que M. Cl. Delamare Deboutteville (Laboratoire Arago, Banyuls-sur-Mer) m'a transmises.

Une série de ces prises renferme seulement des Nématodes de genres non marins et d'autres un mélange d'espèces non marines et marines. Nous ne traiterons ici que des Nématodes marins libres.

Malheureusement le matériel était fixé à l'alcool, certaines formes étaient contractées et non identifiables. Cependant trente espèces de Nématodes ont pu jusqu'ici être reconnues, dont quatre sont nouvelles pour la science (voir plus bas la liste des espèces).

L'île de Madagascar est isolée du continent africain au moins depuis le milieu du jurassique (cf. Delamare Deboutteville et Paulian, 1953), ce qui se reflète dans le haut degré d'endémisme de la faune

(1) Cl. Delamare Deboutteville et R. Paulian, Recherches sur la faune interstitielle des sédiments marins et d'eau douce à Madagascar I. Introduction. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, (A) III, p. 1-10, 1953.

S.A. Gerlach, Sur quelques Nématodes libres des eaux souterraines littorales de Madagascar. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, (A), III, p. 73-86 1953.

(2) Zoologisches Institut der Universität Kiel.

et de la flore terrestres. Il n'en est que plus remarquable que la faune de Nématodes des eaux interstitielles littorales de Madagascar soit très semblable à celles de la Méditerranée européenne, du Brésil et de l'Amérique Centrale, donc des deux seules régions où la microfaune de ces eaux ait été soigneusement étudiée (en faisant abstraction de la côte nord de l'Europe où l'on observe la même faune, régulièrement appauvrie vers le Nord Est). Des 30 espèces de Madagascar, 13 se retrouvent en Méditerranée et 10 sur la côte d'Amérique Centrale (El Salvador) et du Brésil, dans le même habitat ou dans les milieux biologiques voisins. En outre *Nannonchus amazonicus* et *Theristus* cf. *flevensis* doivent être citées, avec une répartition cosmopolite en eau saumâtre.

Ces espèces ont la répartition suivante :

| | Madagascar | Amérique tropicale | Méditerranée et golfe de Gascogne |
|---|---|---|---|
| *Platycomopsis curiosus* ..... | + | + | + |
| *Trefusia conica* ..... | + | + | |
| *Enoplolaimus litoralis* ..... | + | | + |
| *Mesacanthion longispiculum* .. . | + | | + |
| *Trileptium subterraneum* ..... | + | + | + |
| *Dolicholaimus nudus* ..... | + | + | + |
| *Anoplostoma hirtum* ..... | + | + | |
| *Oncholaimus longispiculosus* .... | + | + | |
| *Paracyatholaim. multispiralis* ... | + | | + |
| *Gammanema cancellatum* ..... | + | + | |
| *Synonchium obtusum* ..... | + | + | + |
| *Monoposthia thorakista* ..... | + | | + |
| *Metachromadora quadribulba* ... | + | | + |
| *Draconema solidum* ..... | + | | + |
| *Bathepsilonema pustulatum* ..... | + | | + |
| *Cynura uniformis* ..... | + | + | + |
| *Haliplectus bibulbosus* ..... | + | + | + |
| *Nannonchus amazonicus* ..... | + | + | |
| *Theristus flevensis* ..... | + | + | + |

Pour toute une série de ces espèces à vaste distribution, nous ne pouvons trouver aucune différence entre individus de provenances très distinctes. Chez d'autres on peut noter de petites différences sur lesquelles nous reviendrons plus loin mais qui sont trop faibles par elles mêmes, dans l'état actuel de la systématique des Nématodes marins, pour nous permettre d'établir des espèces distinctes. Nous pouvons aussi placer ici quatre espèces qui sont décrites comme nouvelles de Madagascar mais qui sont « représentées » dans d'autres régions dans les eaux interstitielles côtières par des formes affines :

*Oncholaimus malgassus* par *O. campylocercoides*
*Latronema annulatum* par *L. orcinum*
*Chromaspirina madagascariensis* par *C. Thieryi*
*Procamacolaimus tubifer* par *P. acer* et *cosmius*

Les récoltes dans les eaux interstitielles littorales à Madagascar nous donnent une nouvelle preuve de la distribution cosmopolite des Nématodes de ce milieu, au moins en régions tempérées, chaudes et tropicales. Avec une très grande vraisemblance on peut supposer que l'on retrouvera sur les côtes non encore étudiées de ce point de vue telles que l'Asie orientale et l'Australie, en milieu interstitiel, les espèces de Nématodes qui sont connues actuellement comme habitants typiques de ce milieu en Europe, en Amérique du Sud ou à Madagascar.

## Liste des stations étudiées

M 1 Faux-cap, sable corallien assez compact au pied d'une haute dune ; eaux à 50 cm sous la surface, I. 1952. Trois prises : 6 *Xenocyatholaimus Delamarei*, 7 *Latronema* (syn. *Synonchiella*) *annulatum*, 2 *Chromaspirina madagascariensis*, 11 *Haliplectus bibulbosus*, 1 *Prochromadorella* sp., 24 *Cynura uniformis*, 1 *Procamacolaimus tubifer*, 1 *Rhabditis ocypodis* (cf. Gerlach 1953, Osche 1954).

M 2 Ambila-lemaitso, sable fin, limoneux, près de la limite des hautes eaux, 14.8.1952. 2 *Enoplolaimus* cf. *litoralis*, 2 *Chaetonema sp.*, 3 *Oncholaimus sp.*

M 30 Fort-dauphin, Plage Ranavalona, eaux interstitielles, IV. 1953. 1 *Mesacanthion longispiculum*, 2 *Oncholaimus malgassus*, 1 *Viscosia sp.*

M 33 Fort-dauphin, plage du Gendarme, eaux interstitielles, III. 1953. 2 *Platycomopsis curiosus*, 50 *Oncholaimus malgassus*, 3 indet. *Desmodoridae*, 2 *Bathepsilonema pustulatum*, 2 *Theristus sp.*, 1 *Rhabditis sp.*

M 34 Fort-dauphin, Lagune Lanirano, eau interstitielle, IV. 1953. Nématodes, cf. tableau.

M 35 Fort-dauphin, Anse Dauphine, eau interstitielle, IV. 1953. 3 *Trileptium* cf. *subterraneum*, 1 *Oncholaimus sp.*, 11 *Paracyatholaimoides* cf. *multispiralis*, 1 *Axonolaimus sp.*, 1 *Cynura uniformis*.

M 45 — Ile tromelin, sable corallien, XI. 1953. 4 *Dorylaimus sp.*, 1 *Prochromadorella sp.*, 1 *Theristus sp.*

M 73 à M 74 — Maroantsetra, entre lagune et mer ; eau interstitielle. Nématodes, cf. tableau.

M 82 à M 83 — Maroantsetra, au bord de la Navana. Deux prises 1,5 m sous la surface. Nématodes, cf. tableau.

M 85 — *id.* prise à 1,80 m de profondeur. 1 *Mesacanthion* cf. *longispiculum*, 1 *Mononchus sp.*

M 94 — Maroantsetra, Bac de Fananehana, eau saumâtre. 14 *Dorylaimus* (*div. sp.*), 6 *Trefusia cornea.*

M 98 — Maroantsetra, eaux interstitielles au bord de la mer. Nématodes, cf. tableau.

M 101 — Bac de mananara, lagune ouverte, eau douce. Nématodes, cf. tableau.

M 102 — Imorona, sable coquillier. 1 *Viscosia sp.*, 2 *Dolicholaimus nudus*, 1 *Haliplectus bibulbosus.*

M 103 — Imorona, embouchure d'un petit ruisseau, eau saumâtre. 1 *Platycomopsis curiosus*, 1 *Enoplolaimus* cf. *litoralis*, 1 *Gammanema sp.*, 1 *Neochromadora sp.*, 1 *Steineria sp.*

M 104 — Antanambe, sable compact. Nématodes, cf. Tableau.

M 106 — Bac de manambato, eau saumâtre. Nématodes, cf. Tableau.

M 107 — Bac d'anove, eau douce. Nématodes, cf. Tableau.

M 108 à 110 — Manompana. Trois prises dans une baie presque fermée. Nématodes, cf. Tableau.

M 111 — Bac de fandrarazana (rive gauche), eau saumâtre, sable grossier. Nématodes, cf. Tableau.

M 113 — Bac anjahambe, sable grossier à l'embouchure d'une lagune. 1 *Mononchus sp.*, 1 *Oncholaimus sp.*

M 121 — Ifanadiana, sandrakely, bords d'un fleuve, sable, XII 1954. 8 *Dorylaimus sp.*, 6 *Trilobus sp.*, 3 *Oncholaimus sp.*, 1 *Eurystomina sp.*

M 122 MANANJARY, sable lagunaire assez grossier. XII. 1954. 3 *Mononchus sp.*, 11 *Dorylaimus sp.*, 2 *Nannonchus amazonicus*.

M 123 MANANJARY, lagune, sable vaseux. Nématodes, cf. Tableau.

M 127 à 131 ILE MAURICE, Mon Choisy, IX. 1954. Nématodes, cf. Tableau.

M 132 NOSY-BE, Pointe Tafondro. Sable vaseux, nématodes mal conservés appartenant, entre autres, aux genres *Selachinema*, *Metachromadora*, *Eleutherolaimus*, *Viscosia*, *Xyala*, *Theristus*, aussi *Xenocyatholaimus Delamarei* et *Nummocephalus* cf. *tautraensis*.

M 133 NOSY-BE, Ambanoro, VIII. 1955. 1 *Synonchium sp.*, 1 *Desmodora sp.*

M 134 NOSY-BE, Pointe Tafondro, sable coquillier, limite des hautes mers ; 1 *Mesacanthion sp.*, 2 indet. *Enoplidae*, 3 indet. *Desmodoridae*, 3 *Viscosia sp.*, 1 *Longicyatholaimus sp.* 1 *Theristus sp.*

M 135 NOSY-BE, Lokobé, limite entre sable coquillier et sable vaseux. Nématodes, cf. Tableau.

M 136 NOSY-BE, VIII. 1955. 1 *Mesacanthion* cf. *longispiculum*, 1 *Calyptronema acuminatum*, 7 *Viscosia sp.*, 3 *Metachromadora quadribulba*, 3 *Neochromadora sp.*

M 137 ILE DE LA RÉUNION, Plage Saint-Pierre, résurgence d'eau douce. 1 *Dorylaimus sp.*, 1 *Halichoanolaimus sp.*, 1 *Theristus* cf. *flevensis*.

M 149 NOSY-BE, Ambatoloaka, sable vaseux, III. 1956. Nématodes mal conservés des genres *Trefusia*, *Viscosia*, *Longicyatholaimus*, *Southernia* et *Theristus*.

M 150 ILE DE LA RÉUNION, résurgence d'eau douce à la ravine Manapany, III. 1956. Nématodes mal conservés. 1 *Mesacanthion sp.*, 1 *Latronema* (?) *sp.*, 1 *Draconema* cf. *solidum*.

M 151 NOSY-BE, plage. 1 *Enoplolaimus litoralis* cf., 1 *Dolicholaimus nudus*, 1 *Onyx sp.*, 5 *Metachromadora sp.*

M 153 M 154 ILE DE LA RÉUNION, même station que M 150, V. 1956. 15 *Enoplus sacculus*, 4 *Draconema* cf. *solidum*, 2 *Eurystomina sp.*, 1 *Prochromadorella sp.*

Composition, en Nématodes, de quelques prises d'eaux interstitielles littorales de Madagascar (Nombre d'individus).

| | Numéro des prises : M | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 34 | 73 74 | 82 83 | 98 | 101 | 104 | 106 | 107 | 108 110 | 111 | 123 | 127 131 | 135 |
| *Litinium aequale* | | | | | | | | | | | | | 1 |
| *Trefusia cornea* | | 3 | | | | | | | | | | | |
| *Trefusia conica* | | | | | | | | | 20 | | | | |
| *Mesacanthion* cf. *longispiculum* | | | 3 | | 3 | 1 | | 1 | 13 | 2 | 7 | 7 | 1 |
| *Dolicholaimus nudus* | 1 | | | | 3 | | | | 11 | 7 | | | |
| *Anoplostoma* cf. *hirtum* | | | | | | 1 | | | 8 | | | | 1 |
| *Viscosia sp.* | | | | | 1 | | 2 | | 1 | | | | |
| *Oncholaimus longispiculosus* | | | | 4 | | | | | | | | | |
| *Eurystomina sp.* | | | | | | | | | 9 | | | | 1 |
| *Synonchium obtusum* | | | | | | | | | | | | | 1 |
| *Monoposthia thorakista* | | | | 1 | | | | | | | | | |
| *Procamacolaimus tubifer* | | | | | | | | | 1 | | | 3 | |
| *Haliplectus bibulbosus* | | | 1 | | | | | | | | | | |
| *Nannonchus amazonicus* | | | | 5 | 1 | | | 1 | | 3 | 3 | | |
| *Tripyloides brevis* | | | | | | | | | 12 | | | 1 | |
| *Theristus sp.* | 3 | 1 | | | | 3 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| Formes terrestres : | | | | | | | | | | | | | |
| *Dorylaimus div. sp.* | 1 | 33 | 9 | 5 | 2 | 14 | 1 | 10 | 2 | 30 | 35 | 25 | 9 |
| *Mononchus sp. 1* | 29 | 9 | 5 | | | | 1 | | | | | | |
| *Mononchus sp. 2* | | 52 | | | | | 1 | | | | | | |
| *Cricolaimus sp.* | | | 15 | | 26 | | | | | | | | |
| *Acrobeles ciliatus* | | | 1 | | | | | | | | | | |
| Formes indéterminées | 5 | | | | 2 | | 1 | 3 | 2 | 1 | | | 1 |

LISTE DES ESPÈCES OBSERVÉES

*Litinium aequale* Cobb 1920.
*Platycomopsis curiosus* Gerlach 1955.
**Trefusia cornea**
*Trefusia conica* Gerlach 1957
*Enoplolaimus* cf. *litoralis* Schulz 1936
*Mesacanthion* cf. *longispiculum* Gerlach 1954
**Enoplus sacculus** sp. n. (1)
*Trileptium* cf. *subterraneum* (Gerlach 1952)
*Dolicholaimus nudus* Steckhoven 1950
*Anoplostoma* cf. *hirtum* Gerlach 1956
*Oncholaimus longispiculosus* Gerlach 1955
**Oncholaimus malgassus** sp. n.
*Calyptronema acuminatum* (Eberth 1863)
*Xenocyatholaimus Delamarei* Gerlach 1953
*Nummocephalus* cf. *tautraensis* (Allgen 1933)

(1) Pas trouvé à Madagascar mais seulement à la Réunion.

*Paracyatholaimoides* cf. *multispiralis* Gerlach 1953
*Gammanema* cf. *cancellatum* Gerlach 1955
*Synonchium obtusum* Cobb 1920
*Latronema annulatum* Gerlach 1953
*Chromaspirina madagascariensis* Gerlach 1953
*Monoposthia thorakista* Schulz 1935
*Metachromadora quadribulba* Gerlach 1956
*Draconema* cf. *solidum* Gerlach 1952 (1)
*Bathepsilonema pustulatum* Gerlach 1952
*Procamacolaimus tubifer* Gerlach 1953
*Cynura uniformis* Cobb 1920
*Haliplectus bibulbosus* (Schulz 1935)
*Nannonchus amazonicus* Gerlach 1957
**Tripyloides brevis** sp. n.
*Theristus* cf. *flevensis* Steckhoven 1935

**Litinium aequale** Cobb, 1920 (fig. 1, *a*, *b*)

$$\sigma' : \frac{- \quad 255 \quad M \quad 1641}{9 \quad 22 \quad 24 \quad 25} \qquad 1663\ \mu\ ;\ a = 67\ ;\ b = 6{,}5\ ;\ c = 76$$

Bien que la position en préparation de l'unique exemplaire ne soit pas très favorable à l'étude, je crois cependant qu'il s'agit là de l'espèce décrite par Cobb de Floride ; Cobb a bien décrit la forme de la queue comme en demi sphère-conique, et la longueur et l'arrangement des soies céphaliques est le même, 9 à 10 µ dans l'exemplaire de Madagascar. Mais j'ai pu reconnaître, derrière les organes latéraux, quatre autres soies que Cobb n'a pas figurées. Mais comme Wieser (1954, *L. parmatum*) ainsi que Gerlach (1956, *L. bananum*) ont observé de telles soies dans d'autres espèces du genre, on peut penser qu'elles existent aussi dans les *L. aequale* typiques.

Les spicules ont 27 µ de long ; deux tubercules demi sphériques devant l'anus, ventralement, bien espacés, chacun avec une soie grêle.

Station M 135.

**Trefusia cornea** n. sp. (fig. 2, *a*, *b*)

$$\sigma' . \frac{- \quad 106 \quad 253 \quad M \quad 1125}{15 \quad 21 \quad 22 \quad 25 \quad 21} \qquad 1210\ \mu\ ;\ a = 48\ ;\ b = 4{,}8\ ;\ e = 14{,}2.$$

Le corps grêle est cylindrique et se rétrécit peu vers l'avant. La tête porte en avant une forte capsule labiale qui porte elle-même six papilles sphériques obtuses. Les six soies céphaliques sont toutes divisées en 3 parties (sur le matériel en alcool) ; elles mesurent 8 µ,

(1) Pas trouvé à Madagascar, mais seulement à la Réunion.

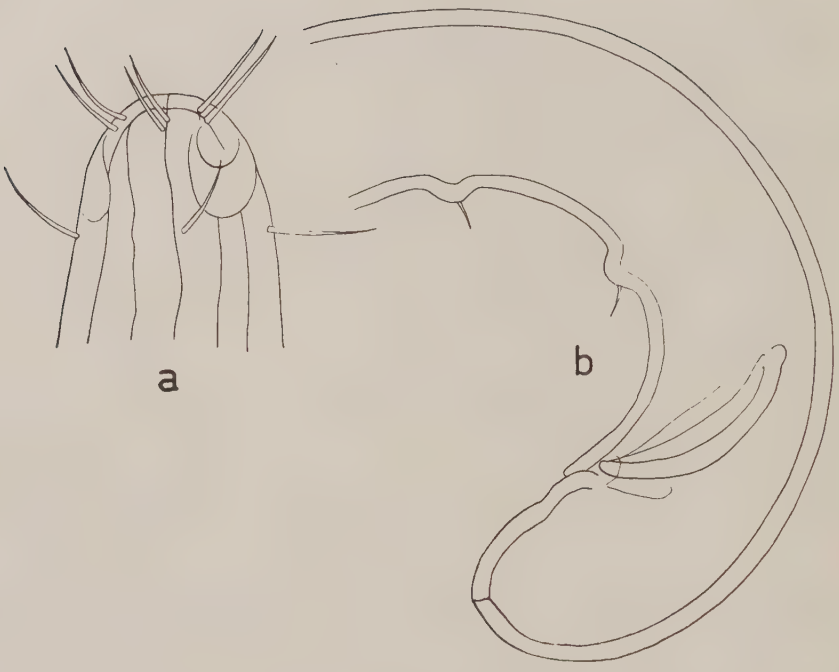



Fig. 1. — *Litinium aequale* Cobb. — *a*) Tête ; *b*) Arrière-corps.

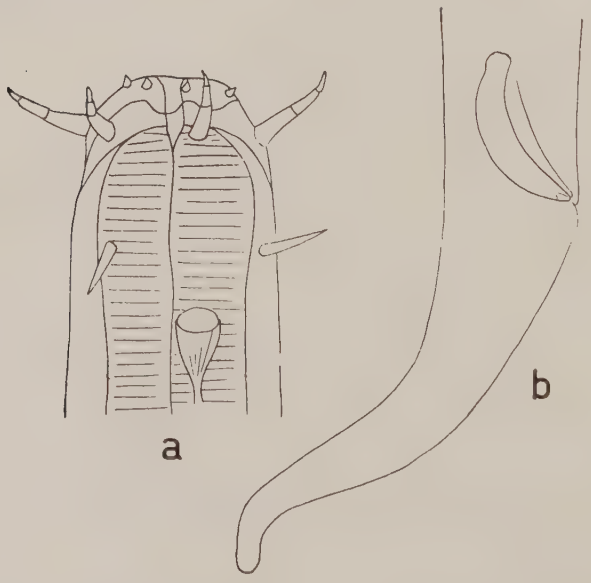



Fig. 2. — *Trefusia cornea* n. sp. — *a*) Tête ; *b*) Queue.

soit la moitié de la largeur de la tête. A une largeur de tête derrière le bord antérieur on peut voir quatre soies céphaliques longues de 5,5 µ. Encore un peu plus en arrière se trouvent les organes latéraux (17 µ derrière l'extrémité de la tête), en poche large de 5 µ, à ouverture (mesurant 28 % de la largeur totale) en ovale transverse.

Le tube de l'œsophage s'élargit faiblement vers l'avant. mais sans véritable cavité buccale. L'œsophage est presque cylindrique.

Les spicules mesurent 25 µ de long. La queue a une longueur égale à quatre largeurs de l'anus et se rétrécit régulièrement en un court tronçon apical cylindrique.

Station M 74.

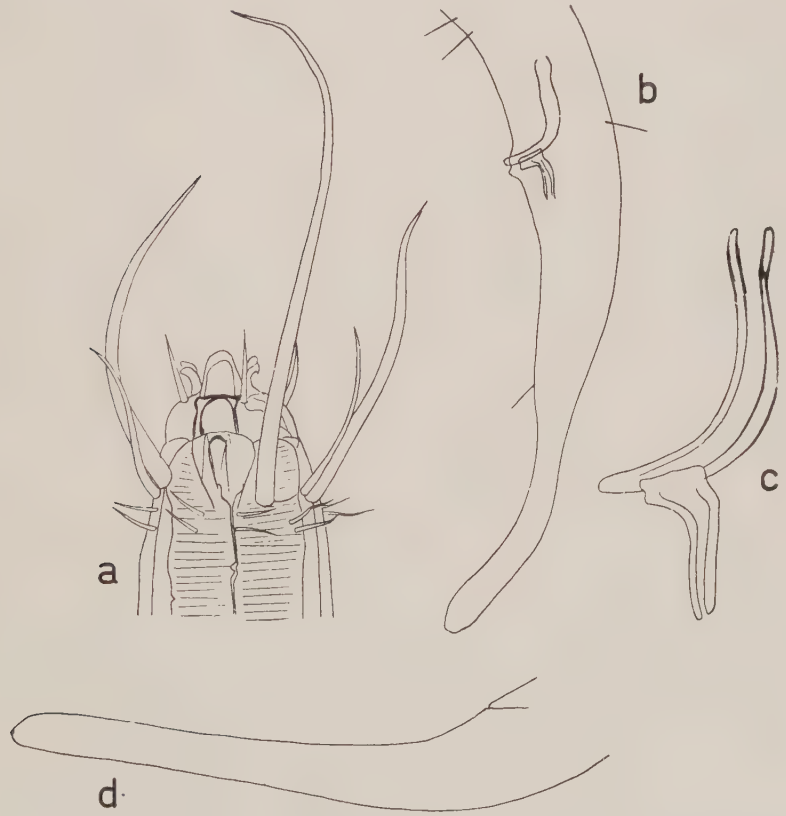



Fig. 3. — *Enoplolaimus* cf. *littoralis* Schulz. — *a*) Tête : *b*) Queue du ♂ *c*) Appareil spiculaire ; *d*) Queue de la ♀.

*Trefusia cornea* n. sp. se distingue des autres espèces du genre — dont elle se rapproche par la structure de l'avant-corps — par la forme relativement plus contractée et la queue plus courte.

**Enoplolaimus** cf. **littoralis** Schulz 1936 (fig. 3 *a* à *d*)

$$\sigma : \frac{- \quad 132 \quad 374 \quad M \quad 1540}{22 \quad 33 \quad 40 \quad 42 \quad 36} \quad 1710\ \mu\ ;\ a = 41\ ;\ b = 4{,}8\ ;\ c = 10.$$

$$\text{juv.} : \frac{- \quad 121 \quad 308 \quad M \quad 1265}{20 \quad 30 \quad 34 \quad 36 \quad 30} \quad 1325\ \mu\ ;\ a = 37\ ;\ b = 4{,}3\ ;\ c = 8{,}3.$$

Chez les mâles les soies labiales ont 11 µ de long, les soies céphaliques latérales 77 µ, submédianes 45 µ (deux largeurs de tête) et 7 µ. Les spitules ont 40 µ de large, le gubernaculum 11 µ. Le gubernaculum présente une apophyse dirigée vers l'arrière et longue de 20 µ. Le tube préanal est petit, 8 µ, et est situé à 70 µ devant l'anus. La queue mesure 4,7 fois la largeur anale.

Station M 2 .

Dans la structure de la partie antérieure ces animaux ressemblent tout-à-fait à l'*Enoplolaimus littoralis* des côtes européennes. Mais ils ne peuvent y être purement et simplement rattachés car le gubernaculum en diffère : nous avons pu observer la remarquable apophyse dorsale qui manque chez *E. littoralis* typiques, dans toute une série d'individus.

**Mesacanthion** cf. **longispiculum** Gerlach 1954 (fig. 4, *a* à *c*)

$$\sigma : \frac{- \quad 176 \quad 770 \quad M \quad 2475}{35 \quad 38 \quad 47 \quad 51 \quad 26} \quad 2575\ \mu\ ;\ a = 55\ ;\ b = 3{,}3\ ;\ c = 25{,}8.$$

Le corps est grêle et allongé et peu rétréci vers l'avant. La tête porte de hautes lèvres et six soies labiales de 16 µ. Les soies céphaliques ont 33 µ et 13 µ, les plus longues étant égales à trois fois la largeur de la tête. Soies subcéphaliques absentes. Cavité buccale profonde de 48 µ, les trois dents faisant également saillie vers l'avant.

Spicules longs de 75 µ, égalant trois fois la largeur de l'anus ou 75 % de la longueur de la queue. Organe adjuvant situé à 90 µ devant l'anus. Queue longue de quatre largeurs de la largeur anale chez le ♂ et 5 largeurs chez la ♀.

Station M 123.

Ces animaux correspondent bien aux *Mesacanthion longispiculum* de la côte nord-africaine mais en diffèrent par les spicules plus courts.

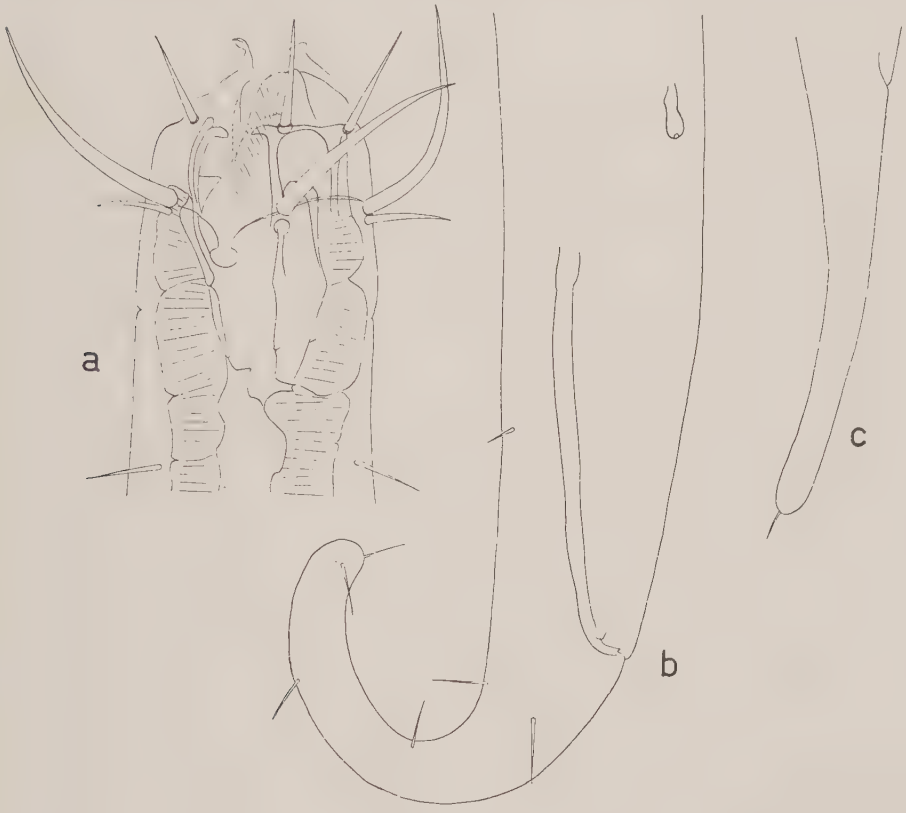



Fig. 4. — *Mesacanthion* cf. *longispiculum* Gerlach. — *a*) Tête du ♂ ; *b*) Arrière-corps ; *c*) Queue de la ♀.

**Enoplus sacculus** n. sp. (fig. 5, *a* à *d*)

$$\text{♂} : \frac{-\ \ 130\ \ 240\ \ M\ \ 1340}{19\ \ 31\ \ 33\ \ 33\ \ 26}\ 1435\ \mu\ ;\ a = 43\ ;\ b = 6\ ;\ c = 15{,}1.$$

$$\text{♀} : \frac{-\ \ 100\ \ 200\ \ M\ \ 1060}{20\ \ 35\ \ 36\ \ 36\ \ 27}\ 1155\ \mu\ ;\ a = 32\ ;\ b = 5{,}8\ ;\ c = 12{,}2.$$

$$\text{juv.} : \frac{-\ \ 92\ \ 202\ \ 587\ \ 983}{21\ \ 37\ \ 37\ \ 38\ \ 23}\ 1093\ \mu\ ;\ a=29\ ;\ b=5\ ;\ c=10\ ;\ V\ 54\ \%.$$

Le corps robuste est allongé et se rétrécit vers l'avant d'environ 60 % de sa largeur à l'extrémité de l'œsophage. La cuticule est finement striée en travers. La tête est un peu bombée en sphère vers l'avant et séparée du corps par une nette suture annulaire. Les organes latéraux sont sur le sommet de cette suture. Chez la ♀ les organes latéraux n'ont que 5,5 µ (23 % de la largeur de la tête à ce niveau); ils sont petits à ouverture ovale transverse. Chez les ♂ ils mesurent 8 µ (36 % de la largeur de la tête) et sont en poches coniques à ouverture transverse et bord fortement sclérifié.

Devant, la capsule labiale porte six papilles plates. Des dix soies céphaliques les plus longues mesurent 10 à 12 µ (la moitié de la largeur de la tête), les plus courtes 7 à 8 µ. Les mandibules dans la cavité buccale sont relativement peu développées et mesurent environ 10 µ de long. Le pore excréteur est très près derrière l'anneau nerveux.

Les spicules mesurent 30 à 33 µ de longueur, un peu plus que la largeur anale ; ils sont simples et un peu épaissis proximalement. Le petit gubernaculum est en rectangle irrégulier. Le tube préanal cylindrique long de 10 à 16 µ est à 40 µ devant l'anus. Soies absentes dans la région anale comme sur tout le reste du corps, mais il existe de petites papilles arrondies en deux rangées subventrales dans la région anale. La queue mesure chez les ♂ 3,5 µ, chez les ♀ 4,8 µ : elle se rétrécit rapidement en cône puis sur les deux tiers postérieurs est cylindrique. La région cylindrique a à peu près 18 % de la largeur de la région anale.

Stations : M 153, 154 (La Réunion).

Les gros organes latéraux du ♂ avec leur ouverture remarquable et l'absence de soies anales sont caractéristiques de cette espèce. Pour le reste elle est très proche, bien que beaucoup plus petite, d'*Enoplus brevis* Bastian.

**Anoplostoma** cf. **hirtum** Gerlach 1956 (fig. 6, *a* à *c*)

$$\sigma' : \frac{- \quad 85 \quad 261 \quad M \quad 1435}{8 \quad 22 \quad 28 \quad 33 \quad 20} \; 1560\ \mu \; ; \; a = 47 \; ; \; b = 6 \; ; \; c = 12{,}5.$$

Le corps est fusiforme et fortement rétréci vers l'avant et vers l'arrière. Les soies céphaliques mesurent 18 et 6 µ de long, les plus longues sont doubles de la largeur céphalique. Les organes latéraux sont à 28 µ derrière l'extrémité antérieure. L'étroite cavité buccale est plus de trois fois plus longue que large.

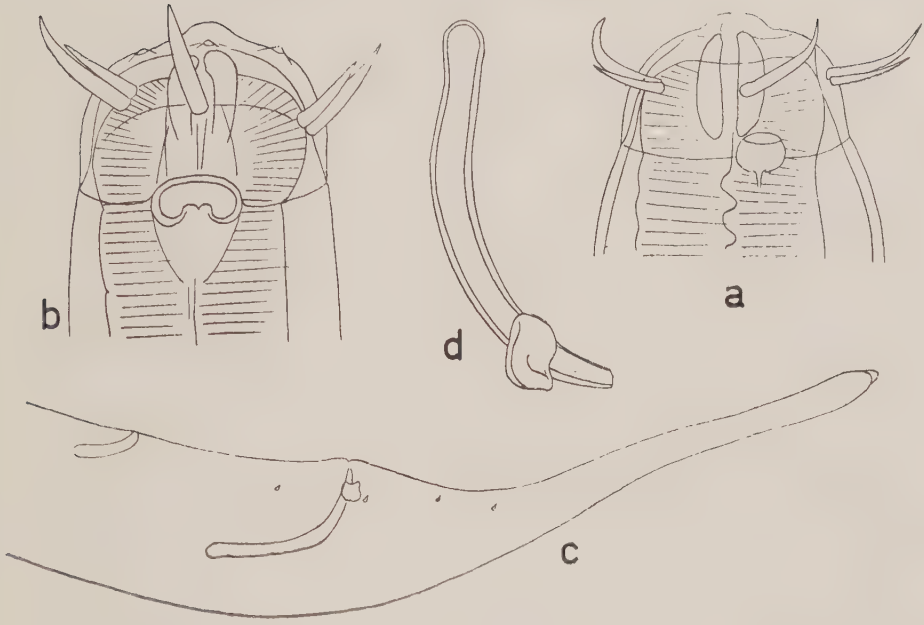



Fig. 5. — *Enoplus sacculus* n. sp. — *a*) Tête de la ♀ ; *b*) Tête du ♂ ; *c*) Arrière-corps du ♂ ; *d*) Appareil spiculaire d'un autre ♂.

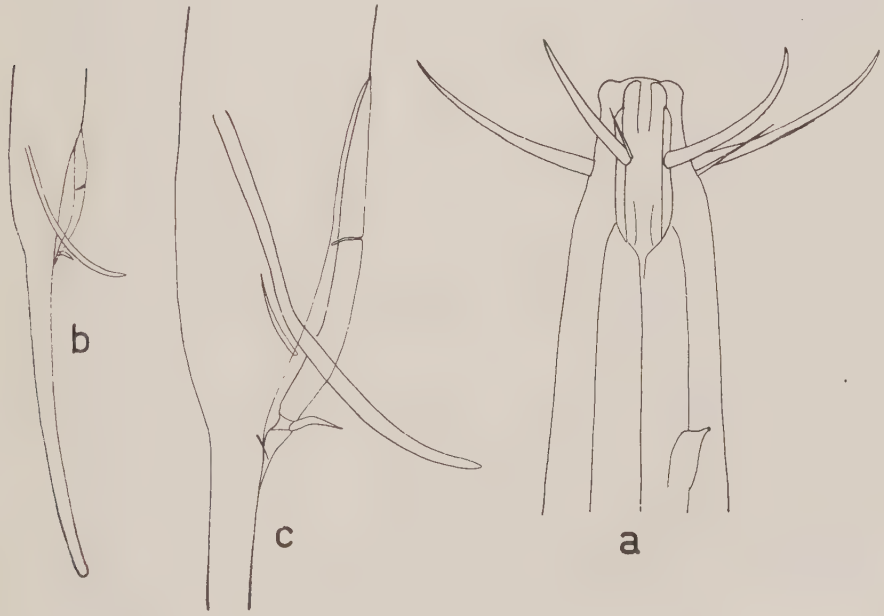



Fig. 6. — *Anoplostoma* cf. *hirtum*. Gerlach. — *a*) Tête d'un juv. ; *b*) Queue d'un ♂ ; *c*) Région anale.

Les spicules mesurent 67 µ et sont accompagnés d'un petit gubernaculum en bâtonnet. La bourse commence 35 µ avant l'anus et le dépasse de 20 µ vers l'arrière. Dans la partie antérieure on peut voir une papille de la bourse, derrière il y a une forte soie sur le sillon de la bourse. La queue mesure en longueur six largeurs de la région anale ; elle est cylindrique sur la plus grande partie de sa longueur.

Station M 110.

Les exemplaires de Madagascar diffèrent un peu des exemplaires typiques dans la forme de la bourse : la bourse est plus longue, la soie se trouve donc sur celle-ci et non derrière elle. *Anoplostoma hirtum* n'était connu jusqu'ici que des eaux interstitielles littorales du Brésil.

**Oncholaimus longispiculosus** Gerlach 1955 (fig. 7)

$$\sigma' : \frac{- \quad 350 \quad M \quad 2200}{26 \quad 33 \quad 38 \quad 22} \quad 2239\ \mu\ ;\ a = 59\ ;\ b = 6{,}4\ ;\ c = 57.$$

Les exemplaires de Madagascar correspondent bien à cette espèce qui n'était jusqu'ici connue que d'Amérique Centrale et du Brésil. La papille de la queue est mieux marquée que dans le type mais est à la même place ; les soies du cloaque paraissent un peu plus longues (5 µ). Les spicules mesurent 70 µ.

Station M 98.

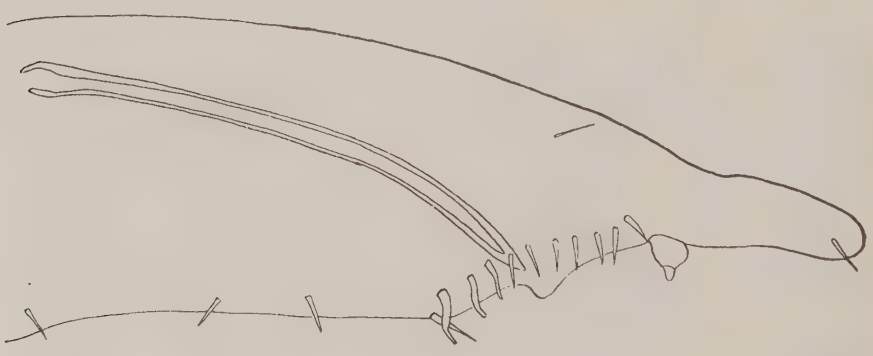


Fig. 7. — *Oncholaimus longispiculosus* Gerlach. — Queue du ♂.

**Oncholaimus malgassus** n. sp. (fig. 8, *a* à *c*)

$$\sigma' : \frac{- \quad 187 \quad 385 \quad M \quad 2239}{22 \quad 36 \quad 39 \quad 40 \quad 31} \quad 2310\ \mu\ ;\ a = 58\ ;\ b = 6\ ;\ c = 32.$$

$$\text{♀} : \frac{-\quad 198 \quad 396 \quad 1460 \quad 2160}{21 \quad 37 \quad 40 \quad 47 \quad 26} \; 2255\ \mu;\ a=48;\ b=5{,}7;\ c=26;\ V=65\ \%.$$

Corps allongé, cylindrique, rétréci vers l'avant jusqu'à ne plus guère mesurer que la moitié de la largeur à l'extrémité de l'œsophage. Six papilles labiales plates à l'extrémité antérieure, plus en arrière 10 soies céphaliques longues de 5,5 μ (le quart de la largeur de la tête). Organes latéraux au niveau de l'extrémité de la cavité buccale ; larges de 7 μ chez la ♀, de 8 μ chez le ♂ (30 et 38 % de la largeur correspondante du corps). Cavité buccale longue de 26 μ et large de 11 μ. Pore excréteur situé environ à deux longueurs de la cavité buccale (41 à 46 μ) derrière l'extrémité antérieure.

Spicules longs de 28 μ, un peu moins de la largeur à l'anus, presque droits, gladiiformes. Dans la région anale six soies longues de 7 μ, de chaque côté, en rangées subventrales. Des soies un peu plus longues sont situées plus en avant sur le corps et sur la queue. A peu de distance devant l'anus une papille ventrale plate, peu marquée. Queue mesurant en longueur 2,3 fois (♂), 3,3 fois (♀) la largeur à l'anus, peu rétrécie et un peu renflée en boule à l'apex.

Station M 33.

Cette nouvelle espèce ressemble beaucoup à *Oncholaimus campylocercoides* de Con. et Stekh., mais s'en distingue par la queue bien plus épaisse et par la papille préanale bien moins saillante.

**Nummocephalus** cf. **tautraensis** (Allgén 1933) (fig. 9, *a* à *c*)

$$\text{♂} : \frac{-\quad 270 \quad M \quad 1749}{21 \quad 26 \quad 28 \quad 26} \; 1870\ \mu\ ;\ a = 67\ ;\ b = 6{,}9\ ;\ c = 9.$$

La cuticule est finement ponctuée en rangées transverses. Au bord antérieur avec six soies labiales de 4 μ ; soies céphaliques de 10 à 11 μ. Organes latéraux de 20 μ et larges de 18 μ (largeur céphalique correspondante 23 μ), occupant presque toute la largeur de la tête, en spirales avec 6 tours serrés. Cavité buccale avec une petite dent dorsale. Œsophage large de 18 μ en arrière, à peine élargi vers l'avant.

Spicules longs de 46 μ ; accompagnés d'un gubernaculum de 28 μ. Très près devant l'anus une petite papille simple suivie vers l'avant de 17 papilles complexes formées de plusieurs pièces cuticulaires. Queue mesurant en longueur 4,7 fois la largeur de l'anus.

Station M 132.

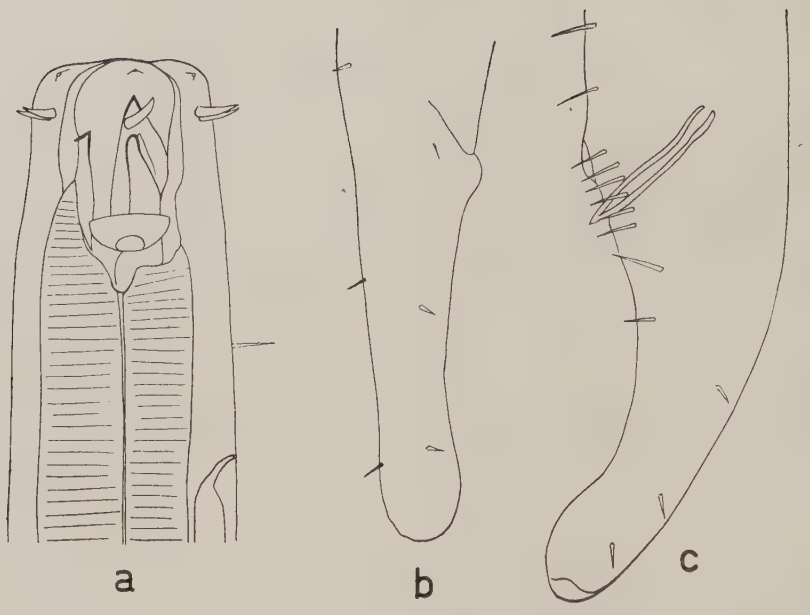



Fig. 8. — *Oncholaimus malgassus* n. sp. — *a*) Tête d'une ♀ ; *b*) Queue ; *c*) Queue du ♂.

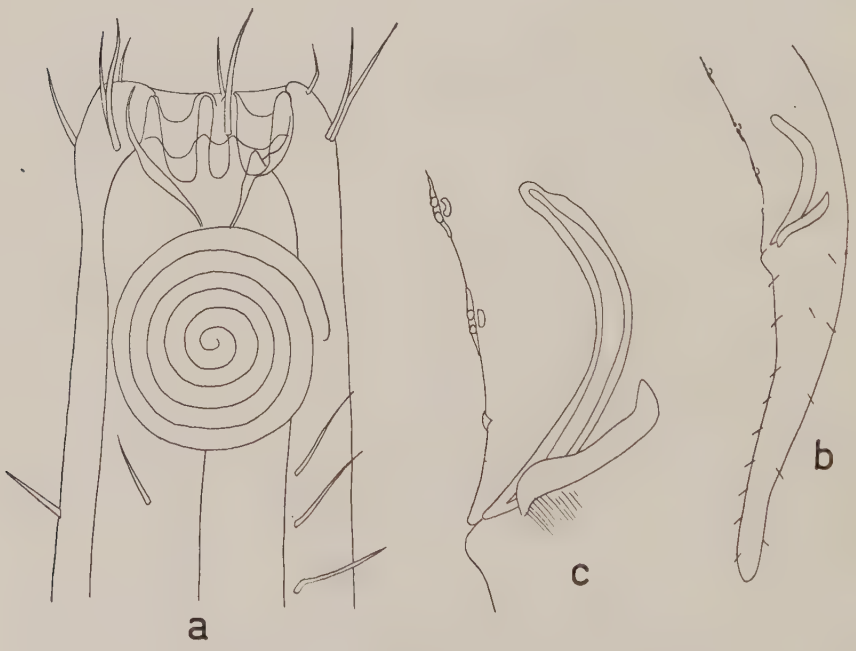



Fig. 9. — *Nummocephalus* cf. *tautraensis* (Allgen). — *a*) Tête ; *b*) Arrière-corps ; *c*) Appareil spiculaire et papilles préanales.

*Cyatholaimus tautraensis* Allgén 1933 a été rangé par Wieser (1954) dans le genre *Choniolaimus*. Ceci est faux, comme le montre une étude précise d'espèces typiques de *Choniolaimus* (cf. Gerlach 1956, *Choniolaimus panicus*). *Cyatholaimus tautraensis* est bien plus proche des espèces que Wieser a regroupées comme *Haustrifera*. *Tautraensis* en diffère surtout par l'absence de différenciation latérale de la cuticule.

Dès 1946 Filipjev a créé le genre *Nummocephalus* avec *Cyatholaimus cotylophorus* Steiner 1916 comme type, espèce qui est très proche du type de *Haustrifera*, *H. concinna* Wieser. Si *cotylophorus* et *concinna* sont congénériques, *Nummocephalus* a la priorité, et *Haustrifera* Wieser n'en est qu'un synonyme.

L'exemplaire de Madagascar diffère des *N. tautraensis* typiques par le corps moins fortement rétréci en avant et en arrière, par la présence de 6 et non 5 spirales aux organes latéraux et par le grand nombre de papilles préanales.

**Draconema** cf. **solidum** Gerlach 1952 (fig. 10, *a* à *b*)

La description suivante est basée sur une ♀.

Corps (étiré) mesurant 630 µ. Largeur du corps 11 µ à l'extrémité antérieure, 30 µ à l'arrière de la tête, 36 µ au niveau de l'œsophage et 16 µ derrière celui-ci, 54 µ à la vulve, 22 µ dans la zone de courbure, 44 µ à l'arrière-corps et 22 µ à l'anus. La cuticule est grossièrement annelée, l'extrémité antérieure ne montre pas de renforcement de ces anneaux.

Les organes latéraux sont courbés en U et paraissent à peu près identiques dans les deux sexes. La cavité buccale est entourée de six grêles soies labiales suivies de très près en arrière par quatre soies céphaliques un peu plus longues. Plus loin derrière existent quelques autres soies de 20 µ de long ; les tubes de fixation sont particulièrement remarquables, ils mesurent 20 et 14 µ et sont situés sur la face dorsale, les deux plus longs sublatéraux, les deux plus courts submédians.

L'œsophage mesure 123 µ de long ; il comporte en avant un bulbe pharyngien et se rétrécit ensuite.

Soies corporelles nombreuses, avant tout dans la région du cou et sur l'arrière-corps. Sur l'arrière-corps se trouvent des cylindres de fixation ventraux en quatre rangées longitudinales, à raison de 18 chez la ♀ et 14 chez le ♂ pour la rangée externe, 12 pour la rangée interne. Ces cylindres mesurent environ 18 µ.

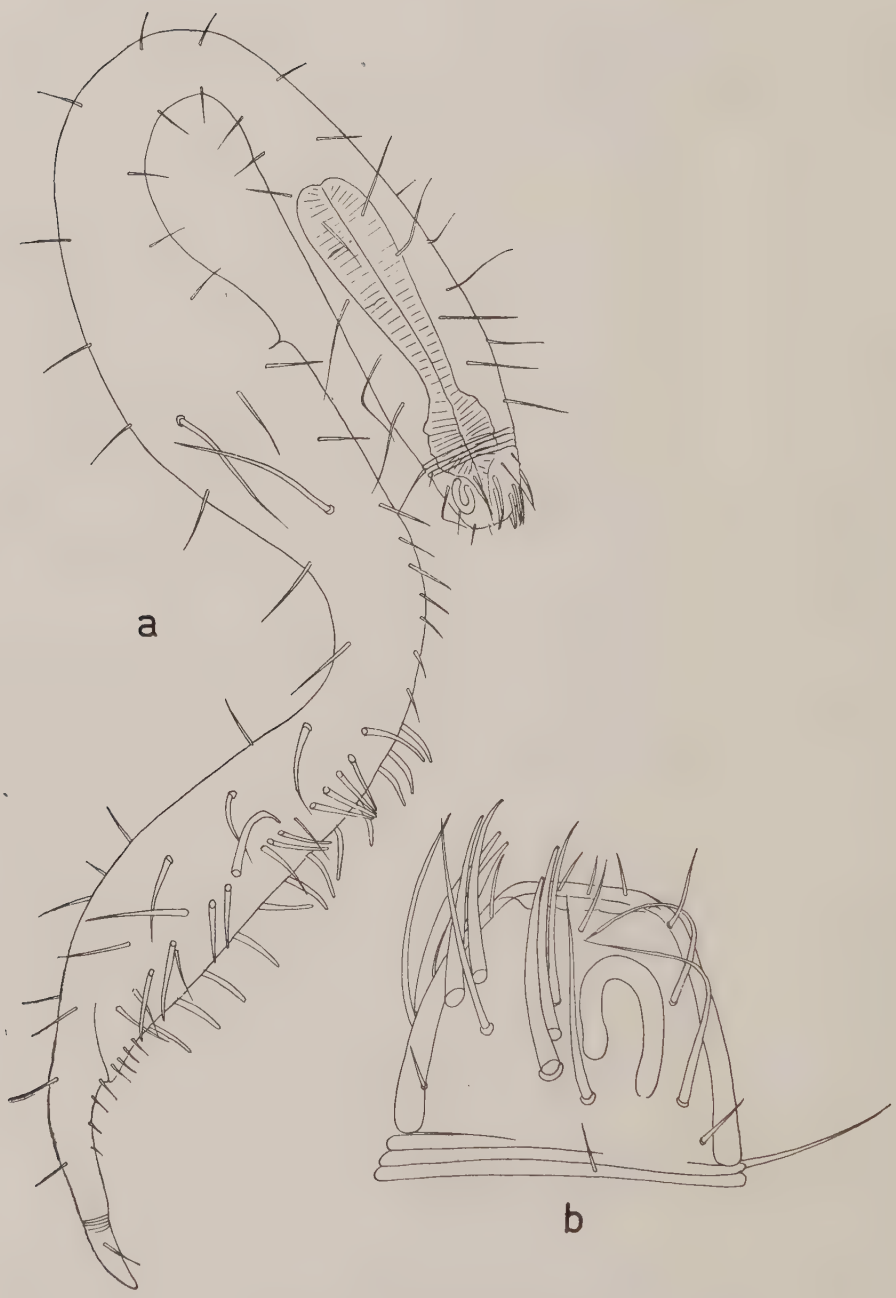



Fig. 10. — *Draconema* cf. *solidum* Gerlach. — *a*) Vue d'ensemble ; *b*) Tête.

Les spicules mesurent 36 μ de long et sont courbés proximalement en crochet. Le gubernaculum n'est qu'à peine reconnaissable. La queue se termine en un cylindre apical non annelé, long de 20 μ. L'ensemble de la queue mesure 70 μ. Chez les ♂ et les ♀ il existe, de chaque côté, dans la région anale, une rangée subventrale de soies grêles.

Station M 153 (La Réunion).

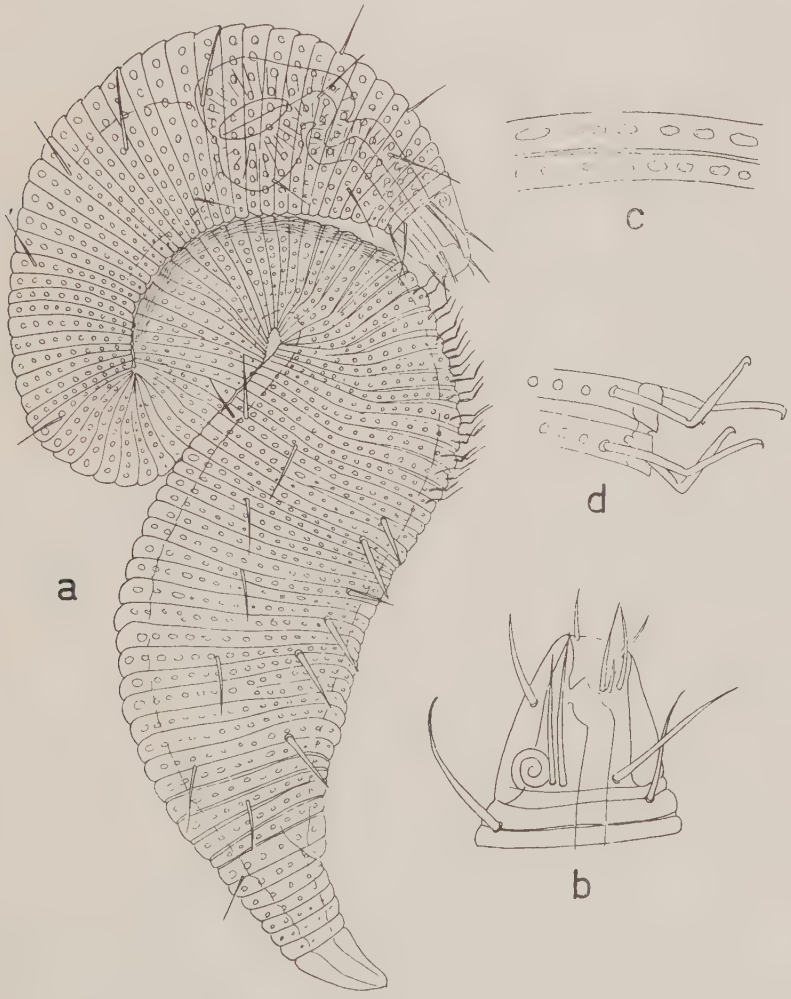



Fig. 11. — *Bathepsilonema pustulatum* Gerlach. — *a*) Vue d'ensemble ; *b*) Tête ; *c*) Structure de la cuticule ; *d*) Soies locomotrices.

Pour la plupart de leurs caractères les individus récoltés sont bien conformes à la description de l'espèce méditerranéenne. Mais le nombre des cylindres de fixation est apparemment plus grand et les organes latéraux ♂ et ♀ ne sont qu'à peine différents.

**Bathepsilonema pustulatum** Gerlach 1952 (fig. 11, *a* à *d*)

Le corps, allongé, mesure 386 µ. La largeur de l'extrémité antérieure est de 9 µ, celle de l'extrémité postérieure de la tête 18 µ, à l'extrémité de l'œsophage 45 µ, puis sur le rétrécissement collaire 23 µ, à la vulve 56 µ, à l'anus 22 µ. L'œsophage est long de 66 µ, la vulve est à 69 % de la longueur du corps. La cuticule porte 120 anneaux qui sont ornés de façon caractéristique de vacuoles rondes ou ovales.

L'extrémité antérieure de la tête porte 4 soies longues de 8 µ et en outre quelques soies longues de 11 µ en son milieu et longues de 17 µ à son bord postérieur. Les organes latéraux ont un diamètre de 4,5 µ. L'œsophage se termine en arrière par un fort bulbe à valves articulaires. Les soies locomotrices ont 10 µ de long, elles sont soit irrégulières soit, au moins, en plus de quatre rangées longitudinales. La cuticule de la région courbée est pourvue ventralement, devant les soies locomotrices, de nombreuses épines dirigées vers l'arrière. La queue mesure 31 µ de long.

Station M 33

L'exemplaire devant nous ne diffère des exemplaires typiques de cette espèce connue jusqu'ici de la Méditerranée que par la disposition des soies céphaliques mais il ne faut pas exagérer l'importance de ce caractère, les proportions étant difficiles à déterminer avec une précision suffisante.

**Tripyloides brevis** n. sp. (fig. 12, *a* à *b*)

$$\text{♂} : \frac{- \quad 117 \quad 259 \quad M \quad 1650}{20 \quad 38 \quad 47 \quad 54 \quad 34}$$ 1726 µ ; a = 32 ; b = 6,6 ; c = 23.

$$\text{♀} \quad \frac{- \quad 115 \quad 308 \quad 850 \quad 1540}{19 \quad 40 \quad 43 \quad 67 \quad 32}$$ 1635 µ; a=24; b=5,3; c=17; V=52 %

Le corps robuste se rétrécit en avant jusqu'à 45 % de la largeur au niveau de l'extrémité postérieure de l'œsophage. A l'extrémité antérieure une faible région labiale porte 6 papilles sphériques obtuses. Les plus longues soies céphaliques sont parfois divisées en trois segments, elles mesurent 17 µ, soit 80 % de la largeur de la tête. Les

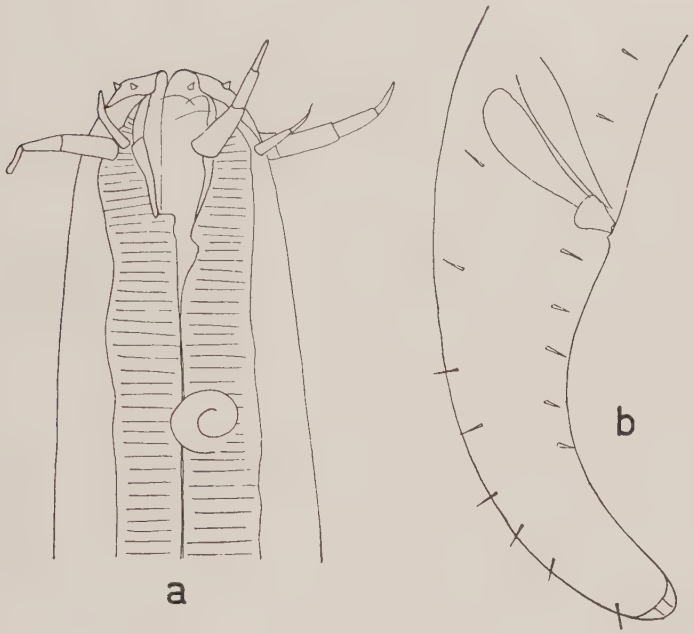



Fig. 12. — *Tripyloides brevis* n. sp. — *a*) Tête ; *b*) Queue.

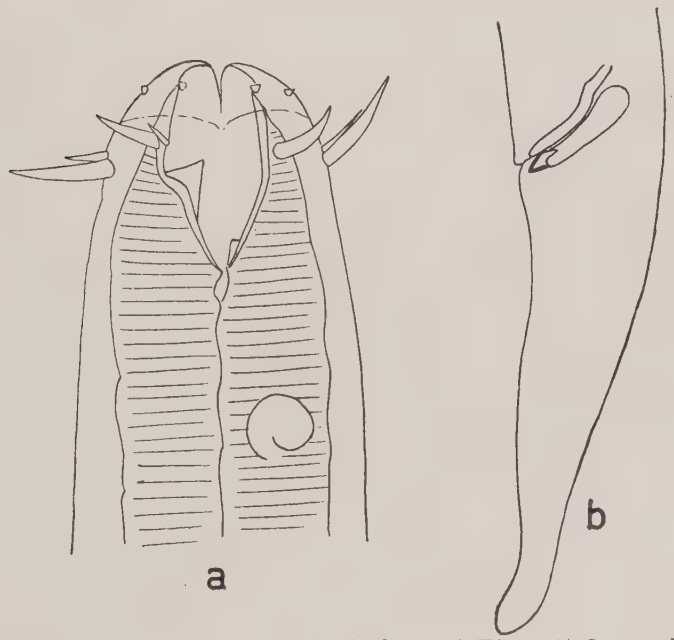



Fig. 13. — *Nannonchus amazonicus* Gerlach. — *a*) Tête ; *b*) Queue d'un autre spécimen.

quatres petites soies céphaliques mesurent 10 µ. Les organes latéraux sont en spirales pourvues de 1,5 tours ; ils mesurent 7,5 à 8 µ (30 % de la largeur du corps à leur niveau) et sont situés à 33-38 µ derrière l'extrémité antérieure. La partie antérieure, large, de la cavité buccale mesure 18 µ de profondeur, elle est limitée en arrière par une saillie dentiforme dorsale qui passe en arrière à une plus petite cavité buccale en poche.

Spicules et gubernaculum longs de 35 µ et ayant les mêmes caractères que dans les autres espèces du genre. La queue mesure chez les ♂ 2,2 fois et chez les ♀ 3 fois la largeur de la région anale, est épaisse et peu rétrécie vers une extrémité arrondie.

Stations M 108 et 109.

Cette nouvelle espèce est reconnaissable à sa queue courte et arrondie et à ses longues soies céphaliques. La forme de la cavité buccale rappelle plutôt les *Bathylaimus*, mais il y a des papilles labiales.

**Nannonchus amazonicus** Gerlach 1957 (fig. 13 *a-b*)

$$\text{♂} : \frac{-- \quad 216 \quad M \quad 1210}{16 \quad 28 \quad 30 \quad 24} \quad 1295\ \mu\ ;\ a = 43\ ;\ b = 6\ ;\ c = 15{,}2.$$

$$\text{♂} : \frac{-- \quad 177 \quad M \quad 880}{12 \quad 27 \quad 27 \quad 23} \quad 956\ \mu\ ;\ a = 35\ ;\ b = 5{,}4\ ;\ c = 12{,}7.$$

$$\text{♀} : \frac{-- \quad 215 \quad 693 \quad 1200}{18 \quad 28 \quad 32 \quad 24} \quad 1300\ \mu\ ;\ a = 41\ ;\ b = 6\ ;\ c = 13.$$

Les soies céphaliques les plus longues mesurent 9 µ (environ 40 % de la largeur correspondante) les plus courtes 5 µ. Les organes latéraux ont 5 à 5,5 µ et sont situés à 27 µ derrière l'extrémité de la tête, leur diamètre est de 0,25 fois chez les ♂, 0,2 fois chez les ♀ la largeur correspondante du corps. La cavité buccale est profonde de 16 µ, la dent dorsale est grande et aiguë, au fond de la cavité on peut voir aussi une petite saillie de la paroi ventrale de la cavité. Les spicules mesurent 22 à 25 µ. La queue mesure 3,3 à 4 fois la largeur de la région anale ; elle se rétrécit en cône puis est un peu renflée dans sa partie distale.

Station M 101 et M 123.

La concordance entre les individus devant nous et la description de cette espèce brésilienne est si grande que je les considère comme identiques.

Résumé

Trente espèces de Nématodes marins libres ont été reconnues dans les eaux littorales interstitielles de Madagascar, La Réunion et Maurice. Quatre espèces nouvelles ont été reconnues : *Trefusia cornea* sp. n., *Enoplus sacculus* sp. n., *Oncholaimus malgassus* sp. n., *Tripyloides brevis* sp. n.

Le caractère très vaste de la répartition de nombreux Nématodes caractéristiques de cet habitat est souligné : 17 espèces ont été retrouvées dans les eaux européennes, brésiliennes ou du San Salvador, ou sont communes à ces trois régions.

## BIBLIOGRAPHIE

Cobb, (N.A.), 1920. — One hundred new nemas. — *Contrib. sc. Nematology*, 9, p. 217.

Filipjev, (I.N.), 1946. — Nématodes libres du bassin polaire (russe à résumé franc.) *Reports of the Expedition of the Chief Administration of the Northern Sea Route on the Icebreaker G. Sedow in 1937-1940*, Band 3, p. 158-184.

Gerlach, (S.A.), 1956. — Diagnosen neufer Nematoden aus der Kieler Bucht. — *Kieler Meeresforschungen*, 12, p. 85-109.

Osche, (G.), 1954. — Ein Beitrag zur Kenntnis mariner Rhabditis-Arten. — *Zoolog. Anz.* 152, p. 242-251.

Wieser, (W.), 1954. — Free-living marine Nematodes, II. Chromadoroidea. — *Lunds Univ. Arsskr.*, N.F. (2) 50, Nr. 16, 148 pp.

MÉMOIRES DE L'INSTITUT SCIENTIFIQUE DE MADAGASCAR
Série F. — Tome II. — 1958

# SUR UNE PETITE COLLECTION DE POISSONS DE LA REUNION

par

Maurice BLANC et Emile POSTEL

La faune ichthyologique de la Réunion n'a jamais donné lieu, jusqu'à maintenant, à aucune recherche d'ordre systématique. La seule étude intéressante dans le domaine des Poissons est en effet celle de MORICE (1950) entièrement orientée vers la pêche et l'écologie. La réalisation d'un inventaire complet des espèces vivant autour de l'île paraît donc souhaitable aussi bien au point de vue scientifique qu'au point de vue pratique. Elle sera certainement longue et nécessitera sans doute de nombreuses collaborations. C'est pourquoi nous avons pensé qu'il serait utile de lui donner dès maintenant une première impulsion en dépouillant une petite collection entreposée au Laboratoire des Pêches Coloniales et composée de spécimens :

a) envoyés en 1923 par Rigotard alors Chef du Service de l'Agriculture ;

b) rapportés en 1926 par Petit en revenant de sa première mission ;

c) récoltés en juin 1957 par l'un de nous au cours d'un bref séjour.

Cette collection comprend environ 250 individus répartis en 71 espèces dont la liste s'établit comme suit :

## I. — SELACIENS

Ordre des ***Squaliformes***

Sous-ordre des **Squaloidei**

Squalidae : *Squalus fernandinus* Molina (1)

## II. — TELEOSTEENS

Ordre des ***Clupéiformes***

Sous-ordre des **Elopoidei**

Albulidae : *Albula vulpes* (Lin.)

(1) Déterminé avec l'aide de M.P. BUDKER Sous-Directeur du Laboratoire des Pêches Coloniales.

Sous-ordre des **Clupeoidei**

Clupeidae : *Sardinella melanura* (Cuvier)
*Harengula vittata* (Val.)

Ordre des ***Tétraodontiformes***

Sous-ordre des **Ostraciontoidei**

Ostraciontidae : *Lactoria cornuta* (Lin.)

Ordre des ***Anguilliformes***

Sous-ordre des **Anguilloidei**

Anguillidae : *Anguilla mauritiana* Benett
Muraenidae : *Gymnothorax punctatofasciatus* Blkr

Ordre des ***Béloniformes***

Sous-ordre des **Belonoidei**

Belonidae : *Tylosurus crocodilus* (Lesueur)

Ordre des ***Mugiliformes***

Sphyraenidae : *Sphyraena Commersoni* C. V.
Mugilidae : *Valamugil seheli* (Forsk.)
Atherinidae : *Hepsetia pinguis* (Lac.)

Ordre des ***Béryciformes***

Holocentridae : *Myripristis kuntee* Russel

Ordre des ***Perciformes***

Sous-ordre des **Percoidei**

Serranidae : *Epinephelus grammatophorus* Boulenger
*Epinephelus morrhua* (Cuv.)
*Epinephelus fasciatus* (Forsk.)
*Epinephelus nigripinnis* (C.V.)
*Epinephelus merra* (Bloch)
*Variola louti* (Forsk.)
*Cephalopholis sonnerati* (C.V.)
*Cephalopholis aurantius* (C.V.)
Apogonidae : *Cheilodipterus polyacanthus* Vaillant
*Synagrops japonicus* (Steind.)
*Pikea lunulata* (Guichenot)
Ambassidae : *Ambassis Commersoni* C. V.
Duleidae : *Dules caudavittatus* (Lac.)
*Dules rupestris* (Lac.)
Lutianidae : *Aetiasis cantharoïdes* Barnard
*Tropidinius zonatus* (Val.)
*Pristipomoïdes filamentosus* (Val.)
*Lutianus kasmira* (Forsk.)
*Lutianus fulviflamma* (Forsk.)
*Lutianus bohar* (Forsk.)

Pomadasyidae (ou Pristipomatidae) : *Rhonciscus anas* (Val.)
Caesiodidae : *Caesio xanthurus* Blkr
Plectorhynchidae : *Pseudopristipoma nigrus* (Cuv.)
Lethrinidae : *Lethrinus microdon* C.V.
*Lethrinus harak* (Forsk.)
*Lethrinus variegatus* C.V.
Leiognathidae : *Gazza minuta* (Bloch)
*Leiognathus equula* (Forsk.)
Gerridae : *Gerres punctatus* Cuv.
Branchiostegidae (ou Latilidae) : *Branchiostegus doliatus* (C.V.)
Carangidae : *Selar crumenophthalmus* (Bloch)
*Caranx hippos* (Linn.)
*Trachinotus Blochi* (Lac.)
Mullidae : *Upeneus vittatus* (Forsk.)
*Pseudupeneus bifasciatus* (Lac.)
*Pseudupeneus macronemus* (Lac.)
*Mulloïdichthys auriflamma* (Forsk.)
Sparidae : *Rhabdosargus tricuspidens* Smith
*Argyrops filamentosus* (Val.)
Pentapodidae : *Gnathodentex aurolineatus* C. V.
Cirrhitidae : *Cirrhites cinctus* Günther
*Cirrhites arcatus* C.V.

Sous-ordre des **Labroidei**

Labridae : *Thalassoma lunare* (Linn.)
*Thalassoma purpureum* (Forsk.)
*Lepidaplois bilunulatus* (Lac.)
*Iniistius pavo* (C.V.)

Sous-ordre des **Siganoidei**

Siganidae : *Siganus oramin* (Bl. Schn.)

Sous-ordre des **Acanthuroidei**

Acanthuridae : *Acanthurus triostegus* (Linn.)
*Naso lituratus* (Forster)

Sous-ordre des **Balistoidei**

Balistidae : *Rhinecanthus aculeatus* (Linn.)
*Rhinecanthus rectangulus* (Schn.)
*Xanthichthys ringens* (Linn.)
Monacanthidae : *Amanses sandwichiensis* (Q. and G.)

Sous-ordre des **Scombroidei**

Scombridae : *Gymnosarda unicolor* (Ruppell) = *G. nuda* (Günther)
Thunnidae : *Euthynnus yaito* Kishinouye

Sous-ordre des **Gobioidei**

Eleotridae : *Eleotris fusca* (Bl. Schn.)
Gobiidae : *Gobius giuris* Ham. Buch.
*Gobius polyzona* Bleeker

Sous-ordre des **Scorpaenoidei**

Scorpaenidae : *Scorpaena mossambica* Peters

### Profondeur de capture

Les Poissons récoltés en juin 1957 ont été capturés aux profondeurs suivantes :

| | |
|---|---|
| *Squalus fernandinus* Molina | — 200-300 m |
| *Albula vulpes* (Linné) | — côte |
| *Sardinella melanura* (Cuvier) | — côte |
| *Harengula vittata* (Val.) | — côte |
| *Tylosurus crocodilus* (Lesueur) | — côte |
| *Epinephelus grammatophorus* Boulenger | — 150-200 m |
| *Epinephelus morrhua* (Cuvier) | — 200-300 m |
| *Cheilodipterus polyacanthus* Vaillant | — 150-200 m |
| *Synagrops japonicus* (Steind.) | — 200-300 m |
| *Pikea lunulata* (Guichenot) | — 200-300 m |
| *Aethiasis cantharoides* Barnard | — 40-50 m |
| *Tropidinius zonatus* (Val.) | — 200-300 m |
| *Pristipomoïdes filamentosus* (Val.) | — 40-50 m |
| *Upeneus vittatus* (Forsk.) | — côte |
| *Iniistius pavo* (C.V.) | — 200-300 m |
| *Gymnosarda unicolor* (Ruppel) = *G. nuda* (Günther) | — Surface |

### Commentaires sur quelques espèces

Au point de vue systématique l'examen du seul *Rhabdosargus* figurant en collection nous l'a fait rapporter à l'espèce *tricuspidens* récemment créée par Smith et dont la validité ne fait plus aucun doute. Il semble bien par contre que *Lepidaplois bilunulatus* (Lac.) ne soit qu'une variation de *Lepidaplois hirsutus* (Lac.) comme le pensait déjà Günther. La question ne sera définitivement réglée que par une étude comparée de plusieurs individus appartenant aux deux formes.

Un séjour prolongé au formol a complètement détruit les caractères de coloration qui auraient pu nous guider dans la détermination du spécimen d'*Euthynnus* existant en collection. C'est en nous basant sur le nombre des branchiospines (8 + 1 + 24 = 33) que nous l'avons défini comme *Euthynnus yaito*.

L'exemplaire de *Gymnosarda unicolor*, obtenu frais à St-Denis, a été immédiatement soumis à des mensurations précises et à une autopsie sommaire

poids : 3.400 grammes
longueur totale : 700 mm
longueur du bout du museau à la pointe du V de la caudale : 640 mm
hauteur au niveau de l'insertion de la première dorsale : 130 mm
longueur de la tête : 155 mm
longueur de la pectorale : 110 mm
diamètre de l'œil : 34 mm
nombre de rayons de la première dorsale : 14
nombre de pinnules dorsales : 7
nombre de pinnules ventrales : 6
nombre de rayons de la pectorale : 27
nombre de rayons de la ventrale : 6 (dont 3 bifides)
nombre de branchiospines : 1 + 1 + 11 = 13
nombre de dents (demi-mâchoire côté gauche) : haut, 24 ; bas, 20.

L'ouverture de la cavité abdominale fit apparaître une masse viscéréale de forme allongée (fig. 1) avec en haut à droite le foie, au centre les caeca pyloriques, en bas l'intestin flanqué d'un côté de l'estomac et de l'autre de la vésicule biliaire.

Le foie possédait trois lobes (fig. 2) : un lobe central et deux lobes latéraux, ces derniers sensiblement égaux.

Les gonades, accrochées au plafond de la cavité abdominale, étaient réduites à un fil, ce qui rendit impossible l'identification du sexe.

Le cœur était relativement petit.

### Comparaison avec les faunes voisines

L'absence d'ouvrages entièrement et uniquement consacrés à la Réunion nous a contraint à recourir à une documentation extérieure que nous avons trouvée notamment chez de Baissac (Ile Maurice), Fourmanoir (Madagascar), Sauvage et Bleeker (Madagascar et Mascareignes), Barnard (Afrique du Sud), Smith (Afrique du Sud et Aldabra), Day (Indes), Munro (Ceylan), Weber et de Beaufort (Archipel Indo-Australien).

Il nous a paru intéressant d'en profiter pour nous livrer à des comparaisons de faune. Bien entendu l'exiguité de notre collection réduit dans de très larges proportions la valeur d'un tel travail.

La non figuration d'une espèce sur nos listes ne signifie pas son inexistence dans les eaux de la Réunion. Nous nous trouvons donc obligés d'éliminer, par honnêteté et par prudence, les caractères négatifs pour retenir uniquement les cas ou des Poissons figurent à notre collection sans être signalés dans les régions avoisinantes.

Sur 71 espèces, 43 sont communes à la Réunion, Maurice, Madagascar et l'Afrique du Sud. Les autres n'ont encore jamais été signalées dans l'une au moins des trois dernières régions si l'on s'en tient aux auteurs que nous avons cités. Leur répartition actuellement connue est conforme aux indications du tableau suivant :

Fig. 1. — *Gymnosarda unicolor* (Ruppel). Masse viscérale. Organes en place F = Foie. C = Caeca pyloriques. V = Vésicule biliaire. E = Estomac. I = Intestin.

Fig. 2. — *Gymnosarda unicolor* (Ruppel). Foie excisé.

| Espèces | La Réunion | Maurice | Madagascar | Afrique du Sud |
|---|---|---|---|---|
| *Anguilla mauritiana* ..... | × | × | | |
| *Gymnothorax punctatofasciatus* | × | × | | |
| *Sphyraena Commersoni* ..... | × | × | | |
| *Myripristis kuntee* ..... | × | × | | |
| *Epinephelus grammatophorus* .. | × | | × | × |
| *Epinephelus morrhua* ..... | × | × | | × |
| *Epinephelus nigripinnis* ..... | × | | | × |
| *Cephalopholis sonnerati* ..... | × | × | | |
| *Cheilodipterus polyacanthus* .... | × | | × | |
| *Synagrops japonicus* ..... | × | | | × |
| *Pikea lunulata* ..... | × | | | |
| *Dules caudavittatus* ..... | × | × | | |
| *Aetiasis cantharoides* ..... | × | × | | × |
| *Rhonciscus anas* ..... | × | × | | × |
| *Caesio xanthurus* ..... | × | | × | |
| *Lethrinus microdon* ..... | × | | × | |
| *Gerres punctatus* ..... | × | | × | × |
| *Branchiostegus doliatus* ..... | × | × | | × |
| *Caranx hippos* ..... ..... | × | | × | × |
| *Trachinotus Blochi* ..... | × | | × | × |
| *Pseudupeneus bifasciatus* ..... | × | × | × | |
| *Mulloidichthys auriflamma* .... | × | × | | |
| *Rhabdosargus tricuspidens* ..... | × | | | × |
| *Cirrhites arcatus* ..... | × | × | | × |
| *Thalassoma purpureum* ..... | × | | × | × |
| *Lepidaplois bilunulatus* ..... | × | × | | × |
| *Iniistius pavo* ..... | × | × | | × |
| *Gymnosarda unicolor* ..... | × | × | × | |

Les différences constatées entre Bourbon et l'Afrique du Sud, où l'inventaire a été très poussé, sont vraisemblablement d'ordre biogéographique. On s'explique facilement qu'une espèce puisse exister à la Réunion, sans exister au Cap. On s'explique moins qu'un poisson signalé dans ces deux endroits soit absent de Madagascar. C'est pourtant le cas pour quelques-unes de nos espèces. Il faut donc envisager l'hypothèse d'un inventaire incomplet de la grande Ile. L'excellente faune de Fourmanoir, celle qui nous a le plus servi, présente d'ailleurs un caractère nettement plus côtier que la nôtre et ceci est certainement dû au fait que les pêcheurs du Canal de Mozambique, qui ont été ses principaux pourvoyeurs, travaillent moins profondément que ceux de la Réunion.

Pour les espèces qui ne sont signalées ni à Madagascar ni en Afrique du Sud, comme *Anguilla mauritiana*, *Gymnothorax punctatofasciatus*, *Sphyraena Commersoni*, etc..., les Mascareignes représentent sans doute le point extrême de leur aire de répartition vers le Sud-Ouest.

Les différences entre Maurice et la Réunion, distantes à peine de 200 kilomètres, sont difficilement explicables. Le plateau continental est pratiquement inexistant à Bourbon. Il est par contre assez large (plusieurs milles) à Maurice. On pourrait admettre en conséquence que des poissons vivant à de grandes profondeurs, comme *Synagrops japonicus*, ne soient jamais rapportés dans la seconde de ces îles, si des espèces également profondes, comme *Epinephelus morrhua* et *Iniistius pavo*, n'y étaient mentionnées. L'absence à Maurice de *Caesio xanthurus*, *Lethrinus microdon*, *Gerres punctatus* et surtout de *Caranx hippos* et *Trachinotus Blochi* s'ajoute aux arguments précédents pour nous amener à penser que l'inventaire de l'île est encore loin d'être terminé et qu'il s'agit sans doute là de la cause essentielle des anomalies constatées.

Il reste à examiner le cas particulier de *Pikea lunulata*, connu par un nombre restreint d'exemplaires, décrit pour la première fois par GUICHENOT dans ses *Notes sur la Réunion* (1863), cité par SAUVAGE de la même région et rapporté par l'un d'entre nous d'une pêche profonde au large de la Pointe des Galets. Il ne semble pas que l'espèce ait jamais été signalée en dehors de Bourbon. Nous nous trouvons peut-être devant un endémique.

## CONCLUSION

En nous basant sur l'étude d'une collection qui, répétons-le, n'a qu'une valeur très limitée, nous en arrivons à penser que l'ichthyofaune de la Réunion comporte une majorité d'espèces indopacifiques, quelques formes sud-africaines, quelques Poissons cosmopolites dans les eaux chaudes (en particulier *Acanthocybium solandri*, non mentionné dans notre liste parce que nous n'avons pas rapporté l'exemplaire examiné sur place en raison de sa taille : 180 cm, 40 kg) et peut-être quelques endémiques. Le nombre des espèces vivant autour de l'île est certainement très élevé. C'est dire qu'il reste beaucoup à faire, simplement pour les enregistrer. Mais l'intérêt d'un inventaire dépasse très largement le cadre de la systématique. La position géographique de la Réunion en fait une magnifique plate-forme d'observation dans le domaine de la biogéographie, et sa structure faciliterait énormément les recherches de bionomie.

Le plateau continental est, comme nous l'avons déjà noté, pour ainsi dire inexistant si bien qu'on trouve sur un espace restreint toutes les transitions entre la faune littorale si richement et si diversement colorée (faune corallienne) et la faune benthique (300 à 400 mètres, limite atteinte par les pêcheurs) presque uniformément rouge. La présence accidentelle de formes relativement froides, comme *Thyrsites*

*atun*, en relation avec des variations brusques de température dûes probablement à des remontées d'eaux profondes, vient encore renforcer notre opinion sur l'intérêt présenté par une étude générale de l'ichthyofaune réunionnaise. Nous ne pouvons en définitive que souhaiter de la voir entreprise dans les meilleurs délais.

*Laboratoire des Pêches Coloniales*
*du Muséum*
et
*Office de la Recherche scientifique*
*et technique Outre-Mer*

## BIBLIOGRAPHIE

Arnoult (J.), Bauchot-Boutin (M.L.) et Roux-Esteve (R.), 1958. — Les Poissons de l'Ile Aldabra. Campagne océanographique de la Calypso dans l'Océan Indien (mai-juin 1954). — *Ann. Instit. Océan.*, XXXIV, sous presse.

Baissac (J. de B.), 1946-1948. — Contribution à l'étude des Poissons de l'Ile Maurice (I et II). — *Trans. r. Soc. Arts Sci. Mauritius*, janv. 1946 — déc. 1948, pp. 19-36.

— 1949-1956. — Contribution à l'étude des Poissons de l'Ile Maurice (III à VI). — *Proc. r. Soc. Arts Sci. Mauritius*, III : 1949, vol. 1, part. 1, pp. 25-31. — IV : 1951, vol. 1, part. 2, pp. 123-152. — V : 1952, vol. 1, part. 3, pp. 185-240. — VI : 1956, vol. 1, part. 4, pp. 319-365.

Barnard (K. H.) 1925-1927. — A monograph of the marine fishes of South Africa. — *Ann. South Afr. Museum*, Edinburgh, vol. XXI, 2 parts, 1065 p., 37 pl.

Bleeker (P.) et Pollen (F.) 1878. — Poissons et pêches de Madagascar et de ses dépendances. — Leide, pp. 1-106 et 1-89, 33 pl.

Day (F.), 1889. — The fauna of British India. Fishes. — London, 2 parts, 1157 p., 341 fig.

Fourmanoir (P.), 1957. — Poissons Téléostéens des eaux malgaches du Canal de Mozanbique. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, F, 1, pp. 1-316, 195 fig., pl. 1-XVII.

— 1954. — Ichthyologie et pêche aux Comores — *Mém. Inst. sci. Madag.*, A, IX, pp. 187-239, 19 fig., 4 cartes, pl. 1-VIII.

— 1952. — Observations sur la faune marine et la pêche à l'Ile Europa. — *Mém. Inst sci. Madag.*, A, VII, 2, pp. 167-188, 1 fig., pl. IX-XIII.

Godsil (H. C.), 1954. — A descriptive study of certain tuna-like fishes. — *Fish Bulletin*, n° 97, California Department of Fish and Game, 185 p.

KISHINOUYE (K.), 1923. — Contributions to the comparative study of the so-called scombroid fishes. — *J. Coll. Agr.*, 8, n° 3, pp. 294-475, 26 fig., pl. XIII-XXXIV.

MORICE (J.), 1950. — Rapport de mission à la Réunion. — C. R. dactylographié, O. S. T. P. M., Paris, 77 p.

MUNRO (Ian S. R.), 1955. — The marine and fresh-water fishes of Ceylon. — Canberra, 349 p., 56 pl.

PETIT (G.), 1930. — L'industrie des pêches à Madagascar. — Soc. Edit. Géogr. Marit. et Colon., Paris, 392 p.

SAUVAGE (H. E.), 1875.-1899. — Histoire Naturelle des Poissons de Madagascar. — Paris, 2 vol., 543 p., 61 pl.

SMITH (J. L. B.), 1950. — The sea-fishes of Southern Africa. — Cape Town, 550 p., 103 pl.

— 1955-1957. — The Fishes of Aldabra. — *Ann. Mag. Nat. Hist.*, vol. VIII : 1955, pp. 304-312, 689-697, 928-937, 886-896 — Vol. IX : 1956, pp. 721-729, 817-829 — Vol. X : 1957, pp. 395-400.

WEBER (M.) et BEAUFORT (L. F. de), 1911-1953. — The fishes of the Indo-Australian Archipelago. — Leiden, 10 vol. parus.

LA PÊCHE A L'ILE DE LA RÉUNION, 1954. — *Revue des Travaux de l'Institut scientifique et technique des Pêches maritimes*, XVIII, fasc. 2 à 4, pp. 103-104.

# Instructions à nos Collaborateurs

La Direction des *Mémoires de l'Institut scientifique de Madagascar* tient à la disposition de ses collaborateurs une notice détaillée relative à la préparation de leurs manuscrits.

Nous indiquons seulement ici que ceux-ci, rédigés en français ou, éventuellement, en anglais, doivent être dactylographiés sur une seule face, avec double interligne et marge suffisante. Ils doivent être définitifs, et ne porter aucune indication typographique. La Direction sera dans l'obligation de refuser les manuscrits qui ne rempliraient pas ces conditions et ne pourra accepter aucun remaniement de texte sur épreuves.

Désirant que l'illustration des *Mémoires* soit abondante et soignée, elle prend à sa charge les clichés au trait et les planches hors-texte en simili ou en phototypie, pour lesquels elle s'efforcera de donner toute satisfaction aux auteurs. Elle est en outre disposée à étudier, dans certains cas particuliers, l'opportunité d'exécuter des planches en couleur.

Les collaborateurs sont assurés de recevoir gratuitement 25 exemplaires tirés à part. Ils pourront en commander en supplément, à leurs frais.

***

## Le Naturaliste Malgache

Sous ce titre, le Parc zoologique et botanique de Tananarive publie un périodique semestriel de documentation et de liaison entre tous ceux qui, dans la Grande Ile, s'intéressent aux choses de la nature. Ce périodique peut être envoyé sur demande hors de Madagascar, au prix de 1.000 francs C.F.A. par volume, frais de port en plus pour l'Etranger.

***

## Envois à l'Institut

L'Institut scientifique de Madagascar recevra avec reconnaissance tous les envois que l'on voudra bien lui faire, de plantes, d'animaux vivants ou conservés, ainsi que de tous documents d'Histoire naturelle ou d'Ethnographie malgache dont le lieu d'origine sera connu.

L'Institut est, cela va de soi, prêt à prendre en charge les frais d'envoi, et, éventuellement, de récolte. Adresser la correspondance à ce sujet à l'Institut de Recherche scientifique, Boîte Postale 434, Tananarive, Madagascar.

# SOMMAIRE


BATTISTINI (R.). — Structure et géomorphologie du littoral Karimbola (extrême Sud de Madagascar) (Pl. I à XVII, 44 fig.)..... 1

BATTISTINI (R.). — Note sur l'existence d'encoches fossiles de corrosion marine dans la baie des Galions (extrême Sud de Madagascar) et sur les variations récentes du niveau de la mer (5 fig.)..... 79

GUILCHER (A.). — Mise au point sur la géomorphologie des récifs coralliens de Madagascar et dépendances (11 fig.)..... 89

GUILCHER (A.), BERTHOIS (L.), BATTISTINI (R.) et FOURMANOIR (P.). — Les récifs coralliens des îles Radama et de la baie Ramanetaka (Côte Nord-Ouest de Madagascar), étude géomorphologique et sédimentologique (Pl. XVIII à XXXI, 33 fig.)..... 117

MENACHÉ (M.). — Etude hydrologique de l'estuaire de Fascène à Nosy Bé (Madagascar) durant la saison des pluies 1956 (Pl. XXXII, 62 fig.)..... 201

HUMES (A. G.). — Copépodes parasites de Mollusques à Madagascar (268 fig.)..... 285

GERLACH (S. A.). — Deuxième contribution à la faune des Nématodes des eaux interstitielles littorales de Madagascar (13 fig.)..... 343

BLANC (M.) et POSTEL (E.). — Sur une petite collection de Poissons de la Réunion (2 fig.)..... 367



PIERRE ANDRÉ
IMP. — PARIS

DÉPOT LÉGAL :
2e TRIMESTRE 1959